
ОБЩАЯ
БИОЛОГИЯ
10·11

○ **Выход в свет учебника С. Ю. Вертьянова следует признать не только своевременным, но и весьма важным событием, способным стратегически изменить ситуацию в сфере среднего биологического образования. Учебник, несомненно, займет достойное место в истории отечественного просвещения.**

В. К. Жиров, член-корреспондент РАН, директор Полярно-альпийского ботанического сада-института Кольского научного центра РАН

○ **Среди имеющихся в настоящее время учебников по общей биологии для средней школы учебник С. Ю. Вертьянова является, с моей точки зрения, одним из самых удачных. Можно также подчеркнуть, что учебник полностью соответствует программе по биологии для поступающих в ВУЗы (в частности в МГУ).**

А. М. Рубцов, доктор биологических наук, профессор биологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова председатель жюри заключительного этапа Всероссийской олимпиады школьников по биологии

○ **Учебник написан в методическом и научном отношении на высоком профессиональном уровне, хорошо структурирован и удобен для изучения. Несомненным преимуществом являются прекрасно выполненные иллюстрации, выявляющие суть рассматриваемых вопросов и значительно облегчающие усвоение. Учебник охватывает весь необходимый для старшеклассников материал и вполне соответствует современным научным данным.**

Э. К. Хуснутдинова, член-корреспондент РАН, зав. отделом геномики Института биохимии и генетики УНЦ РАН

○ **Необходимо подчеркнуть, что учебник богат фактическим материалом, но не перегружен им, достижения современной науки в нем изложены ясно, с множеством примеров, книга хорошо иллюстрирована, легко читается, что, безусловно, облегчает понимание и запоминание материала.**

В. А. Ткачук, академик РАН, председатель экспертной комиссии РАН по анализу и оценке научного содержания учебной литературы (из отрицательного заключения на предмет получения грифа «Допущено»)

Сайт С.Ю.Вертьянова:

www.vertyanov.ru

С. Ю. Вертьянов

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

Под редакцией
академика РАН Ю. П. Алтухова

Учебник для 10—11 классов
общеобразовательных учреждений

3-е издание,
дополненное



Свято-Троицкая Сергиева Лавра
2012

УДК 373.167.1:57
ББК 28.0я72
О-28

Автор Вертьянов Сергей Юрьевич (e-mail: sergijv@yandex.ru)
Под редакцией академика РАН Алтухова Юрия Петровича

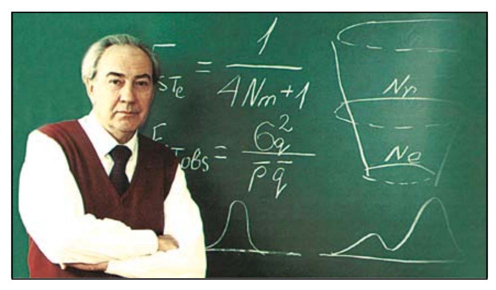
Научные редакторы:
раздел I — к.б.н. В. М. Глазер, к.б.н. Н. А. Лунина
разделы II и III — к.б.н. В. М. Глазер, д.б.н. А. С. Карягина, к.б.н. Н. А. Лунина
раздел IV — д.б.н. Е. В. Балановская, к.г.-м.н. А. В. Лаломов
раздел V — чл.-корр. РАЕН А. Ю. Евдокимов, к.б.н. М. С. Буренков, к.б.н. Е. Б. Родендорф
разделы I—V — преподаватели Центра непрерывного образования им. Серафима Саровского В. Б. Слепов, общеобразовательной школы № 262 г. Москвы к.б.н. С. Д. Дикарев

Учебник разработан в соответствии с современными образовательными стандартами и школьными программами, структурно соответствует действующим учебникам и содержит весь необходимый материал для успешной сдачи экзаменов. Наряду с общепринятым материалом излагаются самые последние научные данные, дан православный анализ ряда вопросов. Рассмотрены оба существующих в современной науке варианта происхождения жизни: в процессе эволюции и в результате сотворения.

О-28 **Общая** биология: Учебник для 10—11 кл. общеобразовательных учреждений. С. Ю. Вертьянов, под ред. Ю. П. Алтухова. М.: Свято-Троицкая Сергиева Лавра, 2012. — 352 с.: ил. — ISBN 5-903102-01-8.

УДК 373.167.1:57
ББК 28.0я72

ISBN 5-903102-01-8



Глубокоуважаемые читатели!

Перед вами — первый учебник биологии, не стесненный материалистическими рамками. Мы возвращаемся к Богу, на протяжении столетия вычеркнутому из нашей жизни.

Минувший атеистический век крайне пагубно отразился на развитии биологии, ряда естественных наук и самого человека. В угоду вседовлеющему материализму положения гипотезы эволюции возводились в догматы, противоречащие научным фактам. Господа Бога заменил в умах поколений «всемогущий» естественный отбор. Ответственность за эту подмену в значительной степени лежит и на ученых. Ведь одна из обязанностей науки — свидетельствовать о правде; ответственность ученого выше, чем врача: последствия его деяний могут затрагивать судьбы миллионов.

За последние 10 лет мои представления о мире и человеке претерпели коренные изменения и привели к твердому убеждению в том, что наш мир — результат высшего творческого замысла. Сложность, комплексность саморегуляция в мире живого таковы, что неизбежно приходишь к заключению о наличии Плана — и следовательно, места для случайности не остается.

Я пришел к выводу о существовании Творца еще и потому, что труды моих сотрудников и мои собственные работы показали, что не только происхождение человека, но даже и происхождение обычных биологических видов не может иметь случайный характер. Каждый вид строго хранит свою уникальность. Его основные признаки связаны не с полиморфизмом как мелкой разменной монетой, которой вид расплачивается за адаптацию к среде, — наиболее жизненно важные свойства вида определяет мономорфная часть генома, которая лежит в основе видовой уникальности: случайные изменения в этих генах летальны. А значит, окружающий мир не может быть результатом естественного отбора.

Тщательное исследование Священного Писания дает все необходимые предпосылки для твердой веры. Таким образом, вера и объективное научное знание не противоречат друг другу — они говорят об одном и дополняют друг друга. Мы надеемся, что после длительного отступления от веры в жизни общества вновь возобладает мировоззрение, основанное на христианстве, определявшем формирование европейской культуры на протяжении двух тысячелетий.

Желаю вам успешного освоения предмета!

Заслуженный профессор Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, лауреат Государственной премии РФ, академик Ю.П.Алтухов

ВВЕДЕНИЕ

Биология — наука о жизни. Она изучает проявления жизнедеятельности всех живых организмов, строение и функции живых существ и их сообществ. Термин биология (<греч. bios жизнь + logos учение) предложил в 1802 г. выдающийся французский естествоиспытатель Жан Батист Ламарк для обозначения науки о жизни, по выражению ученого, как «особом творении Божием».

В настоящее время обнаружено и описано более 2 млн биологических видов. Среди них более 1 млн видов животных, 0,5 млн видов растений, сотни тысяч грибов, более 3 тыс. видов бактерий. В задачу общей биологии входит изучение явлений и процессов, наиболее общих для всего многообразия живых организмов.

Основные признаки живого. В современной науке принято рассматривать жизнь как совокупность живых систем, обладающих следующими отличными от неживой материи свойствами:

1. *Определенный химический состав.* Живые организмы и неживая материя состоят из одних и тех же химических элементов, но в состав живых систем они входят в характерных пропорциях. Живые существа на 97 % состоят всего из четырех элементов: углерода, кислорода, азота и водорода. Сочетание этих элементов дает колоссальное разнообразие соединений — нуклеиновых кислот, белков, липидов и др. Эти соединения выполняют сложнейшие функции и не образуются в неживой природе.

2. *Наличие обмена веществ.* Все живые существа способны производить обмен веществ — поглощать из окружающей среды необходимые для питания соединения и выделять продукты жизнедеятельности. Непрерывное обновление компонентов, составляющих живые организмы, позволяет организмам существовать намного дольше своих отдельных структур.

3. *Функциональность.* Любая часть организма — клетка, ткань или орган — выполняет определенное назначение в его жизнедеятельности. Клетка имеет функциональные составные части, называемые органеллами (органоидами).

4. *Раздражимость* — способность организмов реагировать на внешние воздействия путем преобразования информации, поступающей из внешней среды.

5. *Самовоспроизводимость.* Способность к размножению является одним из основных критериев жизни. При размножении животные и растения воспроизводятся: у кошек рождаются котята, деление амебы порождает амеб, из семени ржи вырастает рожь.

6. *Приспособленность к среде обитания.* Образ жизни и внутреннее строение существ, как правило, соответствуют условиям среды.

7. *Способность к адаптации.* Благодаря особому свойству — изменчивости — организмы приспосабливаются к широкому диапазону внешних условий.

Уровни организации жизни. Различают несколько последовательных уровней организации живой природы.

1. *Молекулярный* (глава 1). Жизнедеятельность любого организма основана на функционировании составляющих его молекул. На этом уровне начинается обмен веществ и энергии и передача наследственной информации.

2. *Клеточный* (главы 2—3). Клетка — элементарная единица живого, она обладает всеми характерными признаками живых систем.

3. *Тканевой.* В многоклеточных организмах группы однофункциональных клеток объединены в ткани (например, покровные, костные, мышечные).

4. *Органный*. Каждый орган состоит, как правило, из нескольких разнофункциональных тканей.

5. *Организменный* (главы 4—8). Специализированные для выполнения различных функций органы и ткани объединены в целостную систему организма.

6. *Популяционно-видовой* (главы 9—13). Организмы, имеющие сходные в основных чертах морфологические и биологические признаки, составляют более сложный надорганизменный уровень организации жизни — вид. Особи одного вида, объединенные территориально, представляют собой общность, называемую популяцией.

7. *Экосистемный* (глава 14). Популяции разных видов, населяющие определенную территорию, тесно взаимодействуют между собой. В совокупности с окружающей неживой природой они составляют экосистему.

8. *Биосферный* (глава 15) — самый сложный общепланетарный уровень организации жизни, объединяющий все экосистемы. На этом уровне происходит круговорот веществ и превращение энергии, тесно связанные с жизнедеятельностью всех организмов планеты.

Иерархичность живой природы. Наличие уровней организации позволяет выделить в живых системах соподчиненность (иерархию). Биохимические процессы (молекулярный уровень) обеспечивают жизнедеятельность клеток. Клетки организованы в ткани. Каждая ткань выполняет свою задачу в целостной системе организма. Жизнеспособность отдельных особей обеспечивает благополучие вида, занимающего свое место в экосистемах планеты.

На каждом последующем уровне происходит усложнение биосистем и появление у них новых качеств. В курсе общей биологии мы изучим закономерности, характерные для всех уровней организации жизни.

Методы исследования в биологии. Для изучения живой природы биологи используют следующие основные методы:

1. *Наблюдение* позволяет выявить и описать биологические объекты и явления.

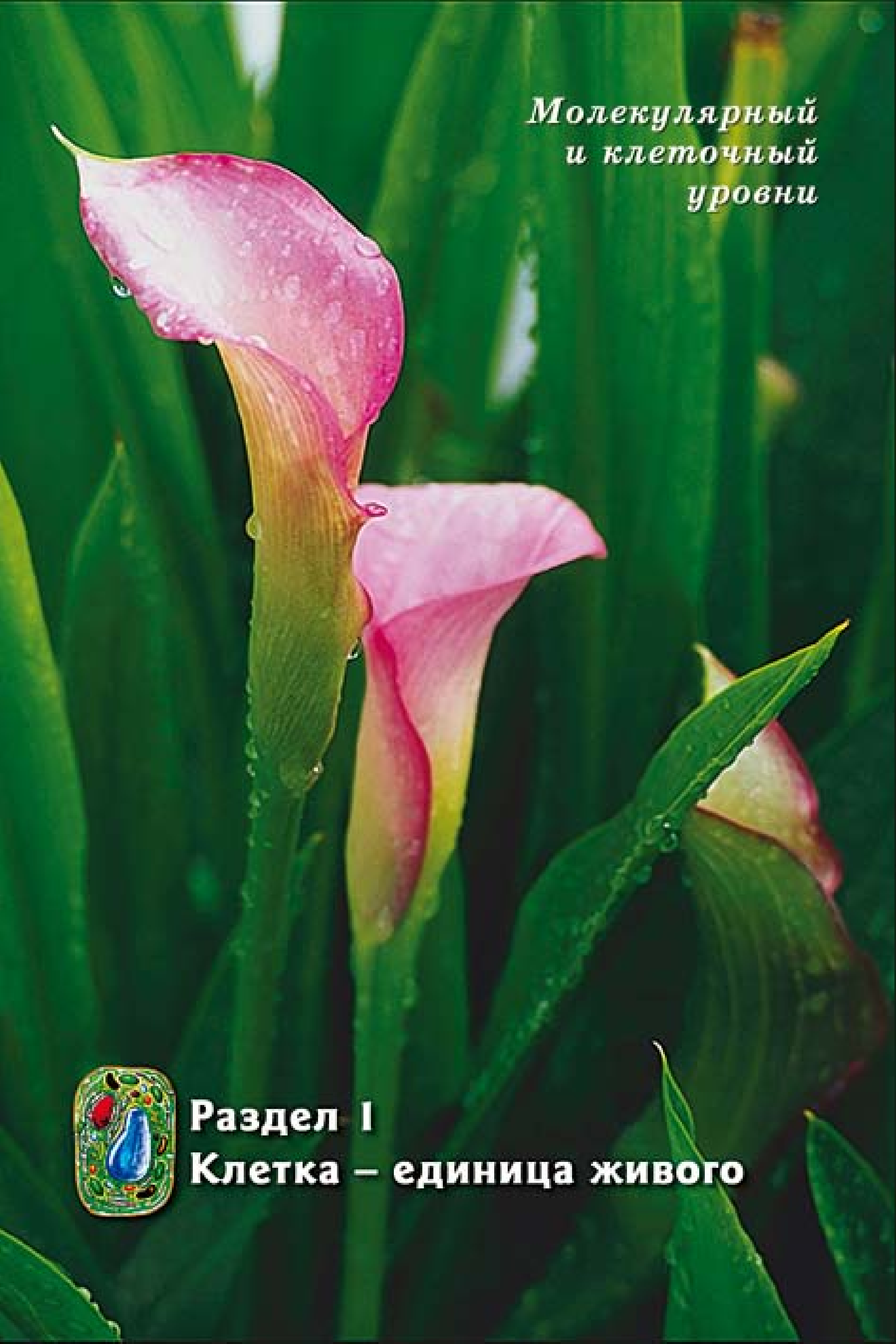
2. *Сравнение* выявляет сходства и различия в строении и функционировании организмов и их частей. На принципах сравнения построена систематизация живых существ.

3. *Экспериментальный метод* позволяет целенаправленно создавать условия, в которых свойства объекта исследования выявляются в интересующем аспекте. Эксперимент дает возможность эффективно вскрывать сущность биологических явлений.

4. *Моделирование* позволяет предсказать поведение биологических систем в тех или иных условиях.

Важность биологических знаний. Изучать окружающий мир важно потому, что он во всех проявлениях — в движении, звуке, шуме ветра, всплеске волн, в солнечных бликах на утренней росе и крике перелетных птиц — есть творение Божие. Жизнь — это и радость бытия, и прекрасные чувства, и творческие порывы, и стремление к свету истины. Все это невозможно без Бога. Жизнь — это гораздо больше, чем вещество, чем материя, это — явление духовного мира. В контексте Сотворения удивительный мир животных и растений перестает казаться случайным порождением неживой материи, возводя человеческий разум к познанию Творца.

Изучение живых организмов и их взаимосвязей помогает решить множество прикладных задач: выведение новых сортов растений и пород животных, предупреждение и лечение различных заболеваний, а также сохранение и восстановление красоты природы.



Молекулярный и клеточный уровни

Раздел I
Клетка – единица живого

Глава 1. ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЖИЗНИ

Организмы животных и растений получают все необходимые элементы из окружающей природы. В клетках содержится около 90 химических элементов, 24 из них имеют известное ученым предназначение. Выполняют ли остальные элементы какую-либо функцию или просто попадают в организмы вместе с пищей и воздухом, пока не установлено. В зависимости от содержания в организмах элементы делят на три группы.

В первую группу входят O (65—70 %), C (15—18 %), H (8—10 %) и N (1,5—3 %). Эти элементы составляют около 97 % массы клетки, поэтому их называют *макроэлементами*.

Вторую группу составляют P, S, Cl и металлы: K, Ca, Mg, Na и Fe. На их долю приходится около 3 % вещества клетки: Mg входит в состав хлорофилла, от содержания Ca зависит свертываемость крови, Ca и P участвуют в формировании костной ткани, Fe является необходимой составляющей гемоглобина — белка, участвующего в переносе кислорода к тканям, Na, K и Cl обеспечивают транспорт веществ через клеточную мембрану.

Основной вклад в построение молекул жизненно важных соединений вносят макроэлементы вместе с S и P, поэтому их называют *биогенными*, или *биоэлементами*. Макроэлементы вместе с S входят в состав белков, а вместе с P — в состав нуклеиновых кислот; O, H, C образуют липиды (с S и P) и углеводы.

Третья группа объединяет остальные элементы. Их не более 0,1 % вещества клетки, однако это не значит, что без них организм может легко обойтись. Например, I (0,0001 %) входит в состав гормона щитовидной железы тироксина, регулирующего рост и интенсивность обмена веществ, Zn (0,003 %) — в состав более чем ста различных ферментов. Содержание Cu в организмах животных — не более 0,0002 %, но недостаток меди в почве и, как следствие, в растениях приводит к массовым заболеваниям сельскохозяйственных животных. Соединения бора необходимы для нормального развития растений, а селен

входит в состав фермента глютатионпероксидазы, предохраняющего клетки от разрушения. Элементы третьей группы подразделяют на *микро-* (10^{-12}—10^{-3} %) и *ультрамикроэлементы* (не более 10^{-12} %). К последним относят Ag, Au, Hg, Be, U, As и др. Биологическая роль многих из них не выявлена.

Живые существа обладают способностью *избирательно* накапливать в себе вещества, поглощаемые из окружающей среды. Так, кислорода в почве содержится 49 %, а в растениях — 70 %; кремния, наоборот, в почве — 33 %, а в растениях — всего 0,15 %. В почве и водоемах очень мало ионов K и много ионов Na, в клетке же, наоборот, много ионов K и мало ионов Na. Пока клетка жива, она стойко поддерживает свой химический состав, отличный от состава окружающей среды.

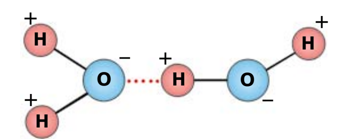
Все химические соединения образуют два больших класса: неорганические и органические. Органические соединения содержат углерод, его наличие является их отличительным признаком. Из всего многообразия органических соединений особое биологическое значение имеют нуклеиновые кислоты, белки, углеводы и липиды (жиры). В состав типичной животной клетки эти вещества входят в следующих примерных соотношениях:

белки	15—18 %	липиды	2—5 %	полисахариды	2 %
РНК	1,1—6 %	ДНК	0,25—1 %		

§ 1. Неорганические вещества

Вода — самое распространенное вещество в живых существах. В многоклеточных организмах вода составляет до 80 % массы. У человека содержание воды в различных органах колеблется от 10 % (в клетках эмали зубов) до 85 % (в клетках головного мозга).

Молекула воды полярна (диполь). Центры ее положительного (у атомов водорода) и отрицательного (у кислорода) зарядов разнесены. Атом кислорода молекулы воды притягивается к атому водорода другой молекулы с образованием так называемой *водородной связи*. Ее прочность в 5—10 раз меньше прочности ковалентных связей, которыми соединены водород и кислород внутри молекулы. Каждая молекула воды способна связаться с несколькими другими. В результате формируется сложная сеть связанных молекул. Водородные связи не позволяют молекулам воды независимо двигаться, поэтому вода при обычных на Земле давлени-



Образование водородной связи между молекулами воды

Водородные связи в воде формируют сложную сеть

ях и температурах от 0 °C до 100 °C — жидкость, а не газ, как аналогичные соединения H_2S и NH_3. Значительное сцепление молекул воды между собой и с молекулами других веществ позволяет воде легко перемещаться вверх по сосудам растений и переносить питательные вещества.

При нагревании воды много энергии расходуется на разрушение водородных связей, и поэтому температура повышается медленно, следовательно, вода обладает высокой теплоемкостью и выполняет *функцию терморегулятора*. При резких изменениях внешней температуры колебания температуры внутри клеток оказываются менее существенными.

Другое стабилизирующее свойство воды связано с высоким значением теплоты ее испарения и конденсации. При падении температуры воздуха пары воды конденсируются, выделяя тепло, предохраняющее растения от переохлаждения. В жаркую погоду на испарение воды с поверхности растений уходит много тепла, что защищает растения от перегрева. Вода обладает и высокой теплопроводностью, обеспечивая равномерное распределение температуры в тканях. А зимой остывшая ниже +4 °C вода становится более легкой и не опускается на дно, а поднимается к поверхности, защищая водоемы от промерзания.

Благодаря сильной полярности молекул вода способна растворять огромное количество неорганических и органических веществ. В нерастворенном виде многие жизненно важные соединения не проникают через клеточную мембрану. Как хороший растворитель вода обеспечивает поступление в клетку необходимых веществ, удаление из нее продуктов жизнедеятельности, а также передвижение веществ в организме в составе межклеточной жидкости, крови, лимфы и соков у растений.

Молекулы воды посредством электростатического воздействия расщепляют молекулы различных соединений на катионы и анионы (с разрывом ковалентной связи), которые затем быстро вступают в химические реакции. Поэтому большинство биохимических превращений в организмах происходит именно в водной среде. В результате взаимодействия молекул белков и углеводов с молекулами воды при участии ферментов происходит гидролиз — расщепление этих сложных макромолекул на более простые соединения.

Хорошо растворимы в воде соли, кислоты, щелочи, а также органические соединения — сахара, аминокислоты, спирты. Эти вещества называют *гидрофильными* (<греч. phileo люблю). Практически не растворимы в воде воска и жиры. Такие соединения называют *гидрофобными* (<греч. phobos страх). Молекулы гидрофильных веществ, как правило, полярны; они способны интенсивно взаимодействовать с молекулами воды, то есть растворяться. Молекулы гидрофобных соединений слабо взаимодействуют с молекулами воды и не растворяются.

Удивительная приспособленность воды к жизнедеятельности всех организмов одним ученым позволяет предположить самопроизвольное появление жизни в водах первобытного океана, других приводит к мысли о сотворенности мира.

Соли. Большая часть неорганических веществ находится в клетке в виде солей. Они образованы катионами K^+, Na^+, Mg^+, $Ca+$ и анионами соляной, серной, фосфорной и угольной кислот.

Катионы K^+, Na^+, Ca^+ обеспечивают раздражимость клетки. Различное их количество на внешней и внутренней стороне мембраны создает разность потенциалов, позволяющую передавать возбуждение по нерву и мышце. Содержание K^+ в мышечных клетках в 30 раз выше, чем в крови; Na^+ участвует в транспорте глюкозы, других сахаров, аминокислот; Ca^+ и Mg^+ активируют ряд ферментов. Анионы угольной и фосфорной кислот обусловливают *буферность* клетки — свойство поддерживать необходимую для нормальной жизнедеятельности слабощелочную среду.

Некоторые нерастворимые в воде соли входят в состав организмов в твердом виде. Прочность костной ткани придает содержащийся в ее межклеточном веществе фосфат кальция, а крепкие раковины моллюсков состоят из карбоната кальция.



1. Назовите характерный признак органических соединений.
2. Опишите биологически важные свойства воды.
3. Расскажите о гидрофобных и гидрофильных соединениях.
4. Какова роль солей в жизнедеятельности клеток?

§ 2. Углеводы и липиды

Углеводы — органические соединения с общей химической формулой $C_n(H_2O)_m$. Водород и кислород в их состав входят в той же пропорции, что и в состав воды, поэтому их и назвали углеводами. В растительных клетках доля углеводов может составлять до 2/3 сухой массы, а в животных — значительно меньше. В организмах они выполняют *энергетическую, запасающую и строительную* функции. Углеводы подразде-

ляют на моносахариды (простые сахара) и полисахариды (сложные сахара).

М о н о с а х а р и д ы — бесцветные сладкие вещества, хорошо растворимые в воде. Их химическая формула $C_n(H_2O)_n$, n=3÷9. Моносахариды с n≥4 могут образовывать циклические формы, которые в водном растворе находятся в равновесии с линейными формами.

Рибоза (n=5)

Дезоксирибоза (n=5)

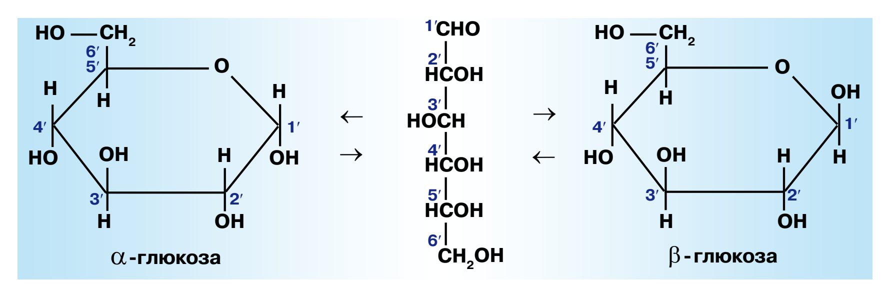
Наиболее важная из пентоз (n=5), *рибоза,* входит в состав рибонуклеиновой кислоты (РНК), а *дезоксирибоза* — в состав дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). Огромное значение в энергетическом обеспечении организмов имеют гексозы (n=6): глюкоза, фруктоза и галактоза. Легко расщепляясь на простые соединения вплоть до воды и углекислого газа, глюкоза является *универсальным источником энергии.* Глюкоза — главное питательное вещество клеток мозга. Ее содержание в крови — около 0,12 %. Снижение этого количества вдвое приводит к смерти через несколько минут.

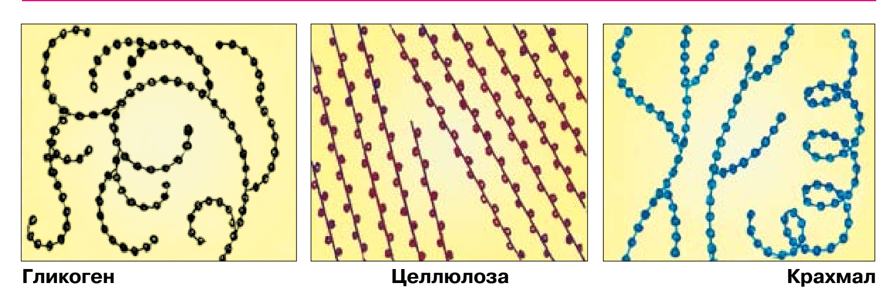
Фруктоза входит в состав дисахарида сахарозы; *галактоза* — в состав дисахарида лактозы, содержащегося в молоке и некоторых полисахаридах (например, в агаре).

П о л и с а х а р и д ы образуются путем соединения моносахаридов в линейные или разветвленные полимеры (до 5×10^5 молекул) так называемой *гликозидной* связью. В пищеварительном тракте сложные сахара расщепляются на простые.

Самыми простыми полисахаридами являются *дисахариды.* Наиболее известна *сахароза* — всем знакомый тростниковый или свекловичный пищевой сахар. В ее состав входят остатки (без атома водорода) двух простых сахаров — глюкозы и фруктозы (см. рис. на с. 20). Сахароза является транспортной формой углеводов в растениях: в виде сахарозы углеводы, образовавшиеся

Глюкоза. Линейная форма и два циклических изомера





Расположение мономерных звеньев глюкозы в различных полисахаридах

в листьях при фотосинтезе, перемещаются в корни и клубни, где запасаются в виде крахмала.

Лактоза (молочный сахар) — главный источник энергии для детенышей млекопитающих. В молоке — около 5% лактозы. За расщепление лактозы на простые сахара отвечает фермент лактаза. В норме у взрослых людей этот фермент не синтезируется. По причине нарушения в гене, отвечающем за синтез лактазы, синтез этого фермента не прекращается в организмах большинства европейских народов. Так, более 90 % взрослых шведов и датчан способны усваивать молоко, но среди коренного населения Сибири и Дальнего востока 60—80 % людей не могут переваривать молоко.

Другой дисахарид — *мальтоза* (солодовый сахар) — образуется из крахмала при прорастании семян под действием ферментов-амилаз и служит основным источником энергии для проростка.

С увеличением числа полимерных звеньев растворимость полисахаридов ухудшается, сладкий вкус пропадает. Самыми важными полисахаридами, составленными из молекул глюкозы, являются гликоген, крахмал и целлюлоза. *Гликоген* — ветвистый полимер α-глюкозы — содержится в основном в клетках печени. При нормальном питании содержание гликогена в печени человека может достигать 500 г, в скелетных мышцах — до 200 г, в сердечной мышце и мозге — до 90—100 г. Основная его функция — *запасающая*. В периоды большой физической или нервной нагрузки происходит интенсивное расщепление гликогена до глюкозы, быстро потребляемой мышечными или нервными клетками.

Полисахарид *крахмал* в клетках растений, гликоген в клетках животных и грибов являются источниками глюкозы и поэтому выполняют функцию основных *запасающих веществ*. Содержание крахмала в клубнях картофеля и семенах — до 90 % сухой массы. При расходовании энергии организмами молекулы глюкозы отщепляются от молекул крахмала, а при избытке глюкозы — присоединяются. Длина полимерных цепей резервных полисахаридов все время меняется.

Линейная форма крахмала (амилоза) образует спирали и содержит сотни остатков α-глюкозы, разветвленная (амилопектин) — имеет значительно больше остатков. Эти формы дают различную реакцию на раствор йода в йодистом калии (I_2/KI): амилоза — темно-синюю, амилопектин — красно-фиолетовую.

Целлюлоза (<лат. cellula клетка), или клетчатка, как крахмал и гликоген, представляет собой полисахарид на основе глюкозы (до 10 тыс. остатков), но не α-, а β-формы. Клетчатка обладает высокой химической стойкостью и механической прочностью. Волокно целлюлозы превосходит по прочности стальную проволоку того же диаметра. Древесина — почти чистая целлюлоза, из клетчатки построены стенки клеток растений.

Организмы животных и человека не имеют ферментов, расщепляющих клетчатку, в их пищеварительных трактах эту функцию выполняют бактерии. У человека в сравнении с жвачными животными усваивается лишь незначительная часть клетчатки, она является для нас трудной пищей. Поэтому после кишечных отравлений, сопровождающихся вымыванием бактериальной среды кишечника, не рекомендуется употреблять в пищу продукты, содержащие грубую клетчатку (например, ржаной хлеб).

Более сложные полисахариды, как и целлюлоза в растениях, выполняют *структурную функцию* — придают прочность и эластичность сухожилиям и хрящам животных. *Хитин* (<греч. chiton одежда) составляет основу клеточных стенок грибов, внешнего скелета насекомых и ракообразных.

Липиды — разнообразные по строению жироподобные вещества, почти нерастворимые в воде (гидрофобные), но хорошо растворимые в неполярных растворителях (хлороформе, метаноле). Наиболее распространенные липиды: *воски*, *нейтральные жиры, фосфолипиды* и *стероиды*.

Воски — соединения (сложные эфиры) жирных кислот и спиртов. Поверхность многих растений покрыта восковым налетом, защищающим от ультрафиолета и механических повреждений. Воск у растений регулирует также и водный баланс: сохраняет влагу и не пропускает внутрь лишнюю воду. Пчелы и шмели используют воск из своих восковых желез для постройки сот. У животных воск покрывает перья и шерсть, входит в состав мозга, желчных протоков печени, стенок лимфатических узлов.

Нейтральные жиры — соединения (сложные эфиры) глицерина (трехатомного спирта) и трех молекул жирных кислот, каждая из которых имеет гидрофильную карбонильную группу и длинный гидрофобный углеводородный «хвост» (см. рис. на с. 14). К нейтральным жирам относится большинство животных и растительных жиров.

Содержание жиров в клетках обычно около 5—15 %, но в запасных тканях мелкодисперсная эмульсия жировых капель

Остаток глицерина

$$
\begin{array}{l}
\quad\ \ \mathrm{H}\qquad\ \ \mathrm{O}\\
\mathrm{H{-}\overset{|}{C}{-}O{-}\overset{\|}{C}{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3}\\
\quad\ \ |\qquad\quad\ \mathrm{O}\\
\mathrm{H{-}C{-}O{-}\overset{\|}{C}{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3}\\
\quad\ \ |\qquad\quad\ \mathrm{O}\\
\mathrm{H{-}\underset{|}{C}{-}O{-}\overset{\|}{C}{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3}\\
\quad\ \ \mathrm{H}
\end{array}
$$

Три остатка жирной кислоты

Строение молекулы нейтрального жира

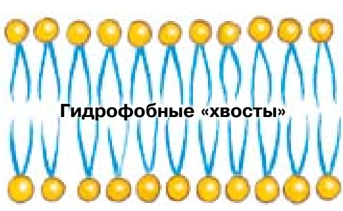
может занимать до 90 % объема клетки. Основная функция жиров — *энергетическая*. При расщеплении нейтральных жиров до CO_2 и H_2O выделяется вдвое больше энергии (около 40 кДж/г), чем при расщеплении углеводов. Жиры могут обеспечивать организм человека энергией в среднем около нескольких недель, а запаса гликогена хватает не более чем на сутки. Однако энергию, запасенную в углеводах, организм способен пустить по назначению быстрее: она является оперативным запасом.

При расщеплении 1 кг жира образуется более литра воды. Благодаря запасам жира в горбах верблюды могут не пить 10—12 дней, а медведи, ежи, сурки во время зимней спячки обходятся без воды несколько месяцев. У растений (подсолнечника, грецкого ореха) жиры сосредоточены в семенах. Они необходимы проростку в качестве начального источника энергии.

Жиры плохо проводят тепло и поэтому используются организмами для *защиты от переохлаждения*. Слой подкожного жира у китов, обитающих в северных морях, может достигать 1 метра. Другая функция жиров — *растворять* необходимые для жизнедеятельности гидрофобные органические вещества (витамины и пр.).

Фосфолипиды образуют клеточные мембраны, по строению они сходны с нейтральными жирами, только вместо одной из жирных кислот — остаток фосфорной кислоты. Их молекулы напоминают головастиков, «головки» гидрофильны, а «хвосты» — гидрофобны. В водной среде молекулы липидов слипаются гидрофобными «хвостами» (такое расположение для них энергетически выгодно), образуя двойной липидный слой.

Стероиды выполняют в организмах *регулирующие функции*. К ним относятся гормоны эстроген, прогестерон, тестостерон, кортикостерон, кортизон и др., витамин D, а также холестерин — компонент мембран клеток животных.



Клеточные мембраны образованы двойным слоем (бислоем) фосфолипидов



1. Расскажите о свойствах и функциях простых сахаров.
2. В каких организмах запасающую энергетическую функцию выполняет гликоген, а в каких — крахмал?
3. Чем сходны пищевой сахар, древесина, панцирь членистоногих?
4. Почему организм запасает энергию в двух формах — в виде углеводов и жиров?
5. Каковы основные функции липидов?

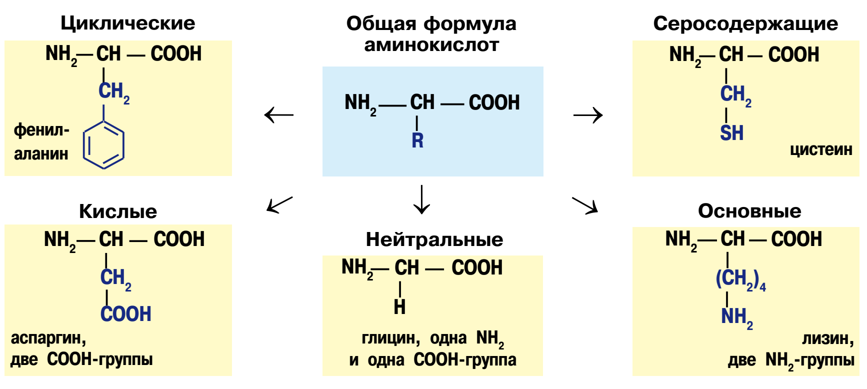
§ 3. Биополимеры. Белки, их строение

Основная часть органических соединений — *биологические полимеры* (<греч. poly много + meros часть). К ним относят белки, нуклеиновые кислоты и полисахариды (углеводы). В клетках растений преобладают углеводы, а в животных клетках больше белков.

Строение белков, или протеинов (<греч. protos первый, важнейший), напоминает длинную цепь, каждым звеном которой является определенная аминокислота. Все живое взаимосвязано процессами питания. Несмотря на различия в строении белков, все организмы для их синтеза используют 20 одних и тех же аминокислот, 8 из них не могут синтезироваться организмом человека и должны поступать с пищей — их называют *незаменимыми*. Некоторые белки (казеин молока, миозин мышц) содержат все аминокислоты, другие (в молоках рыб) — менее половины.

Для небольшого белка из 250 аминокислот, каждая из которых — одна из 20, получается 20^{250} (примерно 10^{325}) возможных молекул! Это громадная величина: в звездах и планетах видимой части Вселенной (более 13 млрд световых лет) «всего лишь» 10^{80} электронов. Удивительно, что из огромного множества возможных комбинаций аминокислот образованы именно функциональные белки, необходимые для жизни.

Молекулы аминокислот, составляющие белки, различаются боковыми цепями атомов (радикалами R)



$$H_2N-\underset{\displaystyle |}{\overset{R_1}{\overset{|}{CH}}}-COOH + H_2N-\overset{R_2}{\overset{|}{CH}}-COOH \rightarrow$$

$$\rightarrow H_2N-\overset{R_1}{\overset{|}{CH}}-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-\underset{\underset{H}{|}}{N}-\overset{R_2}{\overset{|}{CH}}-COOH + H_2O$$

Образование пептидной связи

Относительная молекулярная масса белков достигает десятков тысяч; инсулина — 5 700, а гемоглобина — 65 000. Эти гигантские соединения, включающие в среднем 300—500 аминокислот (тысячи атомов), называют *макромолекулами*.

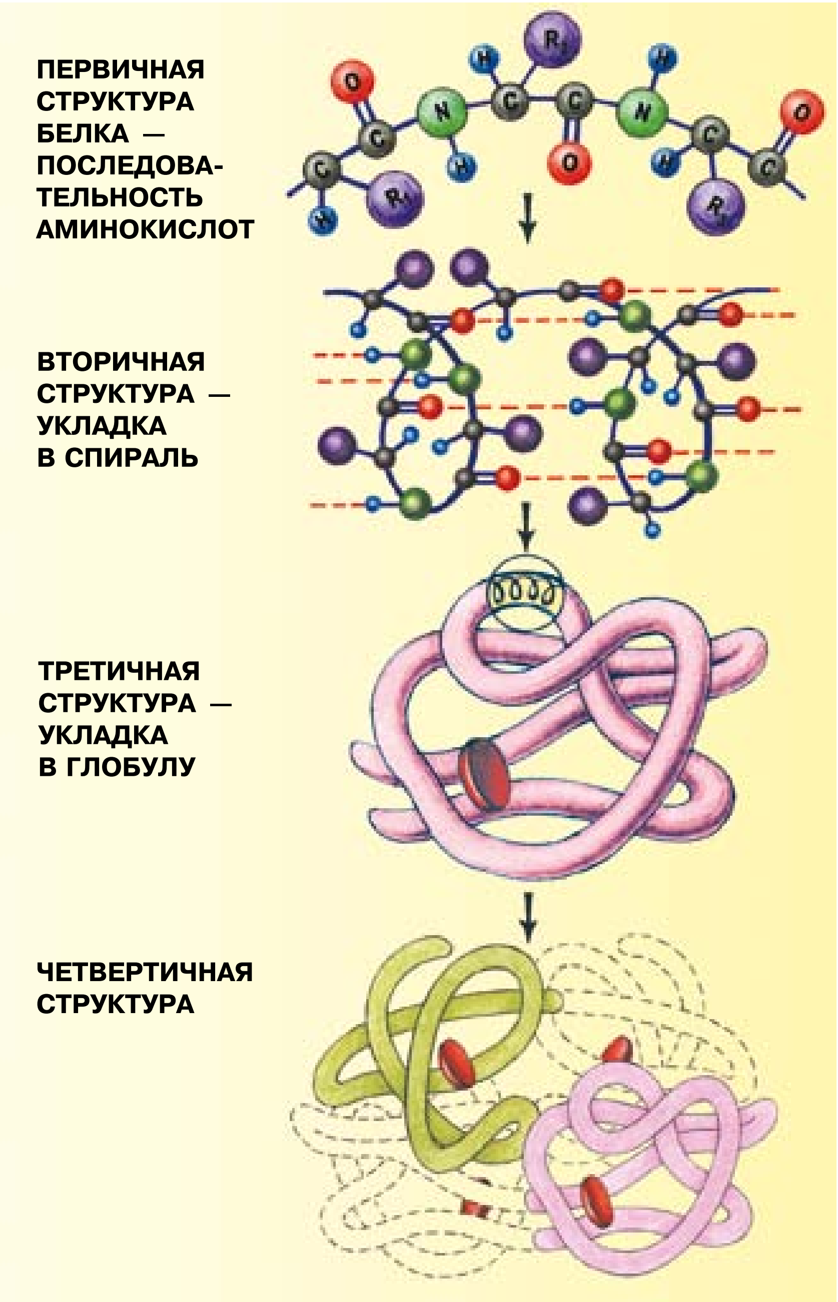
Аминокислоты *амфотерны*: они способны проявлять *как кислотные, так и основные свойства*. В состав каждой аминокислоты кроме специфического только для нее радикала R входит кислотная (карбоксильная) группа COOH и аминогруппа NH_2, придающая ей основные свойства (в кислых и основных аминокислотах этих групп больше одной). Под действием ферментов карбонильная группа одной аминокислоты может взаимодействовать с аминогруппой другой аминокислоты с образованием так называемой α-пептидной связи, поэтому белки называют еще *полипептидами*.

В искусственных условиях вне клетки без участия ферментов среди разнообразных возникающих химических связей между различными группами атомов аминокислот лишь незначительное количество связей могут оказаться α-пептидными. Такие соединения не имеют биологической активности и белками не являются, появление белков наблюдается только в живых организмах.

Последовательность аминокислот в белке называют ***первичной структурой***. В виде вытянутой цепи белок не в состоянии выполнять свои специфические функции. Следующие друг за другом аминокислоты в белке образуют или спиральные структуры (α-спирали), или складки (так называемые β-структуры, которые собираются в складчатые листы-гармошки). Такую пространственную организацию (укладку) полипептидной цепи называют ***вторичной структурой***. Но и этой сложной формы белкам недостаточно для выполнения всех своих функций.

В большинстве белков элементы вторичной структуры (α-спирали, β-структуры и неупорядоченные участки) дополнительно уложены с образованием ***третичной структуры***. *Глобулярные* (<лат. globulus шарик) белки уложены в клубок (или глобулу). Каждый белок образует свою характерную *глобулу*, со своими изгибами и петлями. При средней длине белковой цепи 100—200 нанометров (1нм=10^{-9} м) диаметр глобулы всего 5—7 нм. Третичная структура *фибриллярных* (<лат. fibrilla нить) белков образует пучки нитей или слои.

Для приобретения своих специфических свойств некоторые белки образуют структуры более высокого порядка. В ***четвертичной структуре*** последовательно соединены несколько глобул



Структура белка гемоглобина (в третичной и четвертичной структурах красным цветом выделен железосодержащий пигмент гем)

(или фибрилл). Так, белок гемоглобин состоит из четырех глобулярных субъединиц (каждая несет группу гема с ионом железа).

Формирование правильной пространственной структуры происходит по мере синтеза белковой цепи (последовательного присоединения аминокислот), на каждом этапе сборки белка соблюдается правило минимума потенциальной энергии: гидрофобные участки прячутся внутрь, а гидрофильные — вытесняются наружу; заряды разного знака максимально сближаются (например, NH_3 + и COO^-). Если по какой-либо причине эти правила укладки нарушаются, то белок оказывается неактивным или даже опасным для организма. Инфекционные белки-прионы (<англ. protein infections particles) отличаются от нормальных белков-прионов только вторичной и третичной структурой, но вызывают у человека и млекопитающих неизлечимые заболевания центральной нервной системы («коровье бешенство»).



1. Какие молекулы называют биополимерами?
2. Все ли необходимые аминокислоты синтезирует наш организм?
3. Каким образом аминокислоты связываются в полипептид?
4. Что называют первичной, вторичной, третичной и четвертичной структурами белка? Какова функция этих структур?

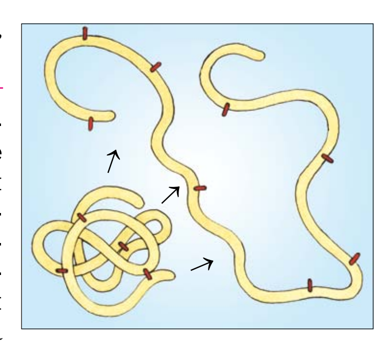
§ 4. Свойства и функции белков

Свойства белков. Различные комбинации аминокислот придают белкам широкий спектр физико-химических свойств.

Большинство белков содержат много гидрофильных аминокислот и поэтому хорошо растворимы в воде, они биологически активны только в растворах. Некоторые белки содержат много гидрофобных аминокислот и нерастворимы в воде.

Одни белки весьма устойчивы к температурным и химическим воздействиям, другие — крайне неустойчивы и при ничтожных изменениях в окружающей среде изменяют свою пространственную структуру. Эта их способность лежит в основе раздражимости — умения живых организмов адекватно реагировать на изменение внешних условий. На поверхности молекул белков может сосредоточиваться электростатический заряд. Его величина зависит от аминокислотного состава белка, это позволяет разделять белки на группы в электрическом поле (при электрофорезе, рис. на с. 197).

Белки способны функционировать только в узком диапазоне температур и кислотности среды (pH), благоприятном для жизни организмов. При сильном повышении температуры,



Денатурация белка: цветом выделены связи, формирующие третичную структуру

химическом воздействии или облучении слабые связи, отвечающие за структуру белка, разрушаются, и белок теряет биологическую активность. Утрата белковыми молекулами своей пространственной структуры называется *денатурацией*. При денатурации первичная структура сохраняется, и в благоприятных условиях белок восстанавливает пространственную организацию — *ренатурируется*. Необратимая денатурация ряда белков нашего организма происходит уже при 43 °С, поэтому заболевания, сопровождающиеся повышением температуры, представляют серьезную опасность.

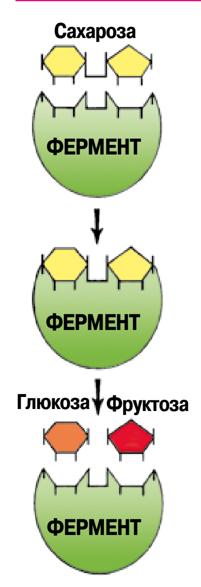
Полная денатурация белка с нарушением вторичной и третичной структуры наблюдается, например, при варке яиц. Денатурацию белков вызывает также и кислотная среда желудка. Денатурированные в вытянутые цепи белки становятся доступными для расщепления пищеварительными ферментами. Под действием молочнокислых бактерий повышается кислотность молока, молочный белок денатурирует и теряет растворимость — молоко скисает.

Сворачивание в спираль и приобретение третичной структуры происходит по мере удлинения белковой цепи в процессе ее синтеза, поэтому зачастую невозможно восстановление денатурированных сложных белков, даже если их первичная структура сохранена.

Функции белков. В клетках организмов белки выполняют множество важных функций.

Структурная (строительная) функция. Белки входят в состав клеточных мембран, образуют коллагеновые волокна соединительных тканей — сухожилий, хрящей, а также костей и кожи. У высших животных на долю коллагенов приходится до трети белковой массы. По мере старения в коллагене образуется все больше ковалентных связей, хрящи теряют пластичность, а кости становятся ломкими. Переплетенные многожильные структуры белков кератинов придают прочность волосам и ногтям человека, перьям птиц, копытам и рогам животных; белки фиброины составляют основу шелка и паутины.

Каталитическая функция — одна из главных функций белков. Тонкая организация живой клетки не позволяет ей содержать бурно реагирующие вещества в заметных концентрациях или существенно повышать температуру, как это делают в лабораториях с целью ускорения химических



Геометрия активного центра ферментов точно соответствует форме молекул

реакций. Тем не менее клетка ведет активную жизнедеятельность. Она расщепляет и окисляет поступающие извне вещества, синтезирует органические соединения.

Для ускорения химических реакций организмы используют *белки-катализаторы*. Их называют *ферментами*, или *энзимами*. В большинстве клеток их многие сотни. С участием ферментов реакции идут быстрее в 10^6—10^{18} раз. Например, молекула уреазы за 1 мин расщепляет до 30 тыс. молекул мочевины, в отсутствие фермента на это понадобилось бы около 3 млн лет. Ускоряя химические реакции, ферменты остаются неизменными и не расходуются. Процессы расщепления и синтеза требуют участия групп ферментов, составляющих биохимические «конвейеры».

Каждый фермент выполняет только свои специфические функции. Ферменты, расщепляющие жиры, не действуют на белки или крахмал. В свою очередь другие ферменты расщепляют только крахмал или только белки.

Активный центр фермента соответствует форме реагирующих молекул, как перчатка — руке, обеспечивая максимальное сближение молекул, их строго определенную взаимную ориентацию и как следствие — интенсивное взаимодействие. Точное соответствие структуры активного центра ферментов строению катализируемых соединений поражает не одно поколение ученых. Без ферментов реакции идут существенно медленней: молекулам редко удается столкнуться нужными частями и сохранять свое положение до завершения химической реакции.

При денатурации белка с нарушением пространственной структуры исчезают и его каталитические способности.

Регуляторную функцию в организмах осуществляют *гормоны* (<греч. hormon движущий), многие из них являются белками. Под их контролем протекают практически все процессы жизнедеятельности. Белковый гормон инсулин, синтезируемый поджелудочной железой, активирует белки-переносчики, осуществляющие транспорт глюкозы в клетки. Если не хватает инсулина, глюкоза остается в крови с избытком, а клетки голодают. В этом причина заболевания сахарным диабетом.

Существуют и небелковые гормоны. Так, адреналин усиливает сокращения сердца, поднимает артериальное давление, повышает потребление кислорода и концентрацию в крови глюкозы (активирует ферменты, расщепляющие гликоген до глюкозы).



В живых организмах белки выполняют девять основных функций

Двигательная функция. Особые сократительные белки обеспечивают все виды движения клеток и организма в целом. Они участвуют в перемещении мембранных пузырьков в цитоплазме клеток (динеин, кинезин), мерцании ресничек и вращении жгутиков у простейших, сокращении мышц у человека и животных. Сократительные белки раскрывают и закрывают цветки некоторых растений (росянки, мимозы). На совершение движений расходуется энергия молекул АТФ (аденозинтрифосфорной кислоты, см. § 6).

Транспортная функция. Белки участвуют в активном переносе веществ через клеточные мембраны. Транспортные белки перемещают в цитоплазму клетки молекулы РНК, синтезированные в ядре. В состав эритроцитов крови входит белок гемоглобин. В капиллярах сосудов легких он присоединяет кислород и доставляет его ко всем клеткам организма. Цитохромы митохондрий и хлоропластов переносят электроны.

Сигнальную функцию белки выполняют благодаря способности изменять свою структуру в ответ на изменение внешних условий. Белки-рецепторы обычно встроены в наружную мембрану. Они передают в клетку сигналы о температурных, световых, химических и механических воздействиях.

Защитная функция. При попадании в организм бактерий, вирусов, чужеродных белков лимфоциты синтезируют особые белки — *антитела*, которые распознают эти вредные компоненты и образуют в соединении с ними нетоксичный комплекс, который затем выводится из организма

или переваривается специальными клетками. Этот механизм лежит в основе *иммунитета*. С целью предупреждения заболеваний людям и животным вводятся вакцины ослабленных или убитых бактерий и вирусов. Болезнь не возникает, но клетки вырабатывают антитела, надежно защищающие организм многие годы.

Свертывание крови — сложная ферментативная защитная реакция, в которой участвуют клетки стенок сосуда, тромбоциты и белки плазмы крови. В процессе свертывания растворенный в плазме крови белок фибриноген переходит в нерастворимый белок фибрин, составляющий основу сгустка крови, закрывающего дефект сосуда.

Энергетическую функцию белки выполняют лишь в крайних случаях, когда другого «топлива» нет.

Запасающую функцию осуществляют, например, белки эндосперма растений: глиадин пшеницы, гордеин ячменя, зеатин кукурузы, легумины бобовых. При прорастании семян аминокислоты этих белков используются в качестве строительного материала.

По мнению ряда ученых, многообразные и специфические свойства белков свидетельствует о том, что появление жизни было сознательным актом Творца, а вовсе не результатом случайного перебора возможных комбинаций молекул в материалистической модели самозарождения жизни.



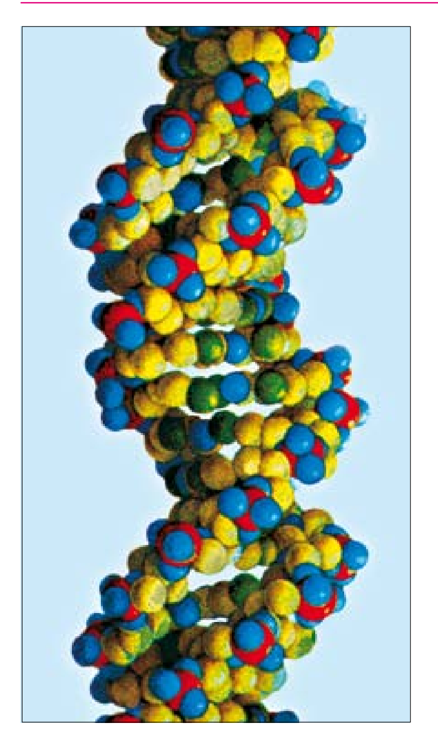
1. Что происходит с белками при варке яиц и скисании молока?
2. Опишите девять основных функций белков.
3. Какие особенности строения белков-ферментов позволяют им выполнять каталитическую функцию?
4. Опишите механизм иммунитета.

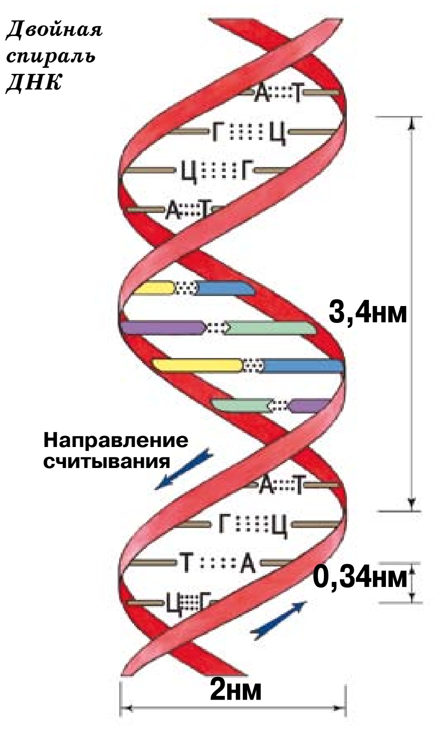
§ 5. Биополимеры. Нуклеиновые кислоты ДНК и РНК

Нуклеиновые (<лат. nucleus ядро) кислоты были открыты в 1868 г. швейцарским биохимиком Ф. Мишером при исследовании ядер лейкоцитов человека. Их биологическое значение огромно. *В нуклеиновых кислотах хранится наследственная информация всего организма.* Они необходимы как для поддержания жизни, так и для ее воспроизведения.

Существуют два типа нуклеиновых кислот: дезоксирибонуклеиновые (ДНК) и рибонуклеиновые (РНК).

Дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК). *Основное количество ДНК хранится в клеточных ядрах в составе хромосом* (<греч. chroma цвет + soma тело). Митохондрии и хлоропласты



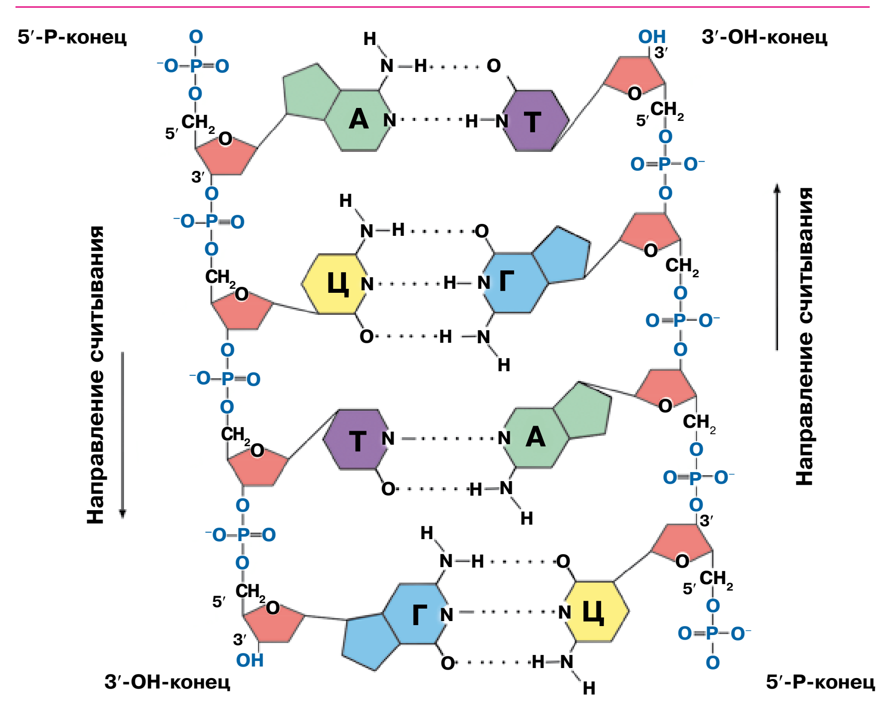


содержат небольшие кольцевые молекулы ДНК, несущие информацию о строении и функционировании этих органелл. Пространственная структура ДНК была выявлена в 1953 г. английским физиком Ф. Криком и американским биологом Дж. Уотсоном.

ДНК состоит из двух параллельных полимерных цепей, скрученных в двойную правозакрученную спираль (одна вокруг другой и обе вокруг общей оси). Каждая цепь ДНК — полимер, мономерами которого являются нуклеотиды. Полимерная цепочка (полинуклеотид) может содержать до 100 млн нуклеотидов (у человека — 6×10^9 пар). В составе нуклеотида — одно из четырех азотистых оснований: аденин (А), тимин (Т), гуанин (Г) или цитозин (Ц), а также моносахарид дезоксирибоза и остаток фосфорной кислоты.

Урацил (У)

Аденин (А)   Тимин (Т)   Гуанин (Г)   Цитозин (Ц)

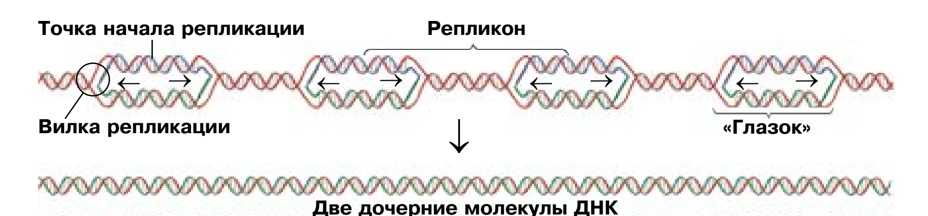


Участок двойной спирали молекулы ДНК

Четыре вида нуклеотидов различаются только азотистыми основаниями. В полинуклеотидной цепи ДНК молекулы дезоксирибозы связаны прочными ковалентными связями с остатками фосфорной кислоты соседних нуклеотидов. Две цепи ДНК связываются друг с другом посредством водородных связей между азотистыми основаниями.

Особенности строения молекул азотистых оснований дают следующую закономерность: основание А связывается только с Т, а Г — только с Ц. Такой порядок соединения энергетически выгоден, поскольку обеспечивает наибольшее количество водородных связей и параллельность цепей ДНК. Нуклеотиды как

Четыре нуклеотида, входящие в состав молекулы ДНК



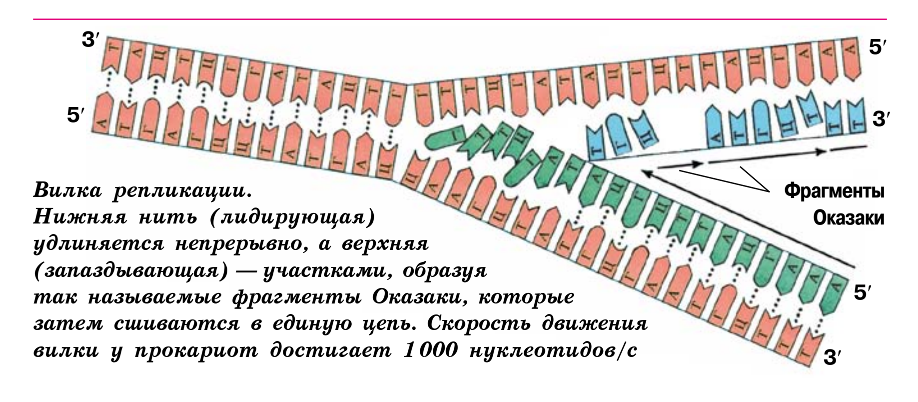
Репликация ДНК у эукариот начинается сразу во многих точках

бы дополняют друг друга, образуя так называемые *комплементарные пары* А—Т и Г—Ц (<лат. complementum пополнение).

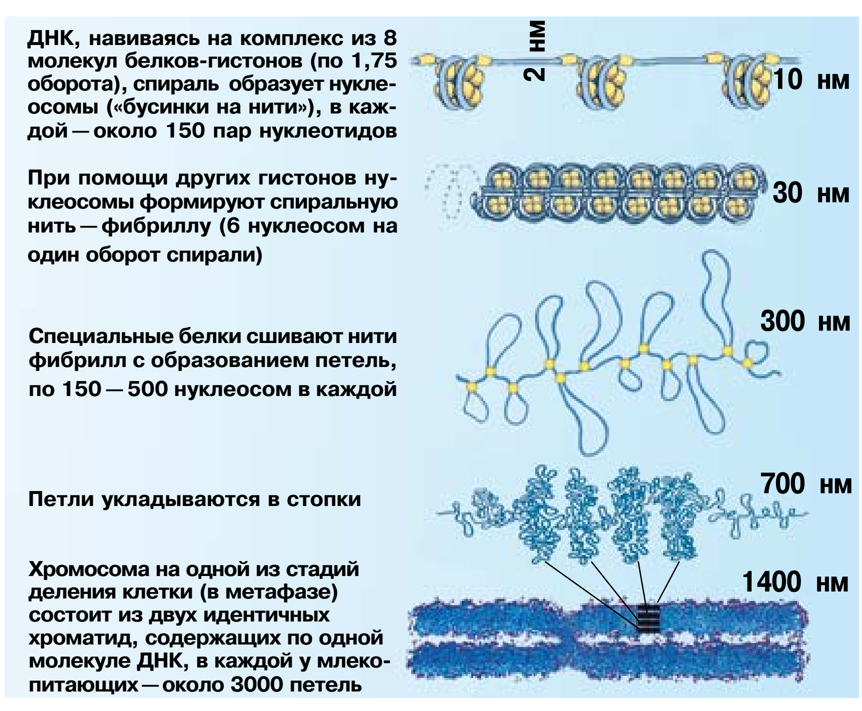
Поскольку цепи ДНК с одной стороны заканчиваются фосфатом, с другой — ОН-группой, то говорят, что цепи полярны. Полярность цепей противоположна, поэтому их называют антипараллельными. Считывание информации (транскрипция, см. § 17) происходит в противоположных направлениях — с каждой цепи в направлении от 5′-Р-конца к 3′-ОН-концу (цифры указывают номер атома углерода в дезоксирибозе, к которому присоединена ОН-группа или фосфат на концах цепей, рис. на с. 18).

Если известен порядок следования нуклеотидов в одной цепи ДНК, то по принципу комплементарности можно установить порядок нуклеотидов в другой цепи. Комплементарность цепей позволяет ДНК *реплицироваться* (<лат. replicatio повторение) в две идентичные дочерние молекулы. Процесс удвоения составляет молекулярную основу размножения всех организмов.

Репликация ДНК в клетках эукариот начинается сразу во многих точках (у прокариот — в одной), образуя тысячи «глазков». ДНК-полимераза в комплексе с другими ферментами (более 15) разрушает слабые водородные связи между цепями ДНК и, раскручивая молекулу, удваивает ее по принципу комплементарности. Такие ферментные комплексы (реплисомы) расходятся от точек начала репликации в противоположных направлениях.



Вилка репликации. Нижняя нить (лидирующая) удлиняется непрерывно, а верхняя (запаздывающая) — участками, образуя так называемые фрагменты Оказаки, которые затем сшиваются в единую цепь. Скорость движения вилки у прокариот достигает 1000 нуклеотидов/с



Упаковка ДНК в хромосоме (указан размер по вертикали)

Полимераза способна присоединять нуклеотиды только в направлении считывания, поэтому одна из цепей (лидирующая) удлиняется непрерывно, а другая — прерывисто: по мере смещения вилки репликации полимераза начинает синтезировать новый фрагмент, всегда в направлении $5' \rightarrow 3'$.

Установив структуру ДНК, Ф. Крик и Дж. Уотсон предположили, что наследственная информация закодирована последовательностью нуклеотидов, в которой каждому гену соответствует свой участок нуклеотидной цепи. Позже это предположение подтвердилось, выяснился также механизм очень плотной упаковки спирали ДНК в ядре с образованием *хромосомы*. ДНК человека общей длиной 1,8 м содержится в ядре диаметром 6×10^{-6} м.

В структуре ДНК можно, таким образом, выделить два основополагающих свойства, благодаря которым ДНК является материальной основой наследственности:

— в чередовании четырех нуклеотидов ДНК закодирована вся наследственная информация организма;

— принцип комплементарности оснований лежит в основе важнейших генетических процессов: воспроизведения (репликации) ДНК в ряду поколений, транскрипции (считывания наследственной информации) и трансляции (синтеза белков

в соответствии с этой информацией), репарации (устранения нарушений в структуре ДНК), кроссинговера (дает новые комбинации генов в потомстве, обеспечивая необходимое разнообразие генетического материала). В следующих параграфах мы остановимся на этих свойствах ДНК более подробно.

Особенности строения ДНК озадачивали многих ученых: могла ли она возникнуть сама по себе? Нобелевский лауреат Ф. Крик заявил, что «нет никакой вероятности самопроизвольного возникновения жизни из химических элементов Земли».

Рибонуклеиновая кислота (РНК). Молекулы РНК большинства организмов представляют собой одиночную цепь нуклеотидов, сходную по строению с отдельной цепью ДНК. Только вместо дезоксирибозы РНК включает другой моносахарид — рибозу, а вместо тимина — урацил. В некоторых патогенных для человека вирусах носителем генетической информации является двухцепочечная РНК, устроенная подобно ДНК (реовирусы).

Наследственную информацию, хранящуюся в ДНК, реализуют именно РНК. Их молекулы синтезируются на соответствующих участках одной из цепей ДНК по принципу комплементарности. РНК переносят информацию о строении белков от хромосом к месту синтеза и непосредственно участвуют в сборке белков.

Общая масса РНК в клетках превышает количество ДНК и варьирует в зависимости от стадии жизненного цикла клетки. Заметно большее количество РНК содержат клетки, интенсивно синтезирующие белки.

Различают три основных типа РНК.

Матричные РНК (мРНК) служат матрицей для синтеза белков. Они содержат информацию (другое их название — «информационные РНК», иРНК) о первичной структуре синтезируемых клеткой белков и переносят ее из ядра в цитоплазму к рибосомам, синтезирующим белки из аминокислот. Матричные РНК включают 100—10 000 нуклеотидов и составляют до 5% всей РНК клетки.

Рибосомные РНК (рРНК) входят в состав рибосом, определяют их устройство и функционирование, они содержат 3—5 тыс. нуклеотидов. На долю рРНК приходится 85 % РНК клетки.

Транспортные РНК (тРНК) имеют малые размеры, в их составе 70—100 нуклеотидов. Основная часть тРНК находится в цито-плазме, где они выполняют свою функцию — связывать и доставлять аминокислоты к рибосомам в процессе синтеза белков.



1. Каковы функции ДНК?
2. Опишите строение молекулы ДНК.
3. Как удваиваются ДНК и в чем главное значение этого процесса?
4. Откуда появляются РНК, какова функция мРНК, рРНК, тРНК?

§ 6. Аденозинтрифосфорная кислота — АТФ

Энергия, поступающая с пищей, запасается клеткой в виде химических связей органических молекул, которые клетка синтезирует. Как мы уже знаем, универсальным источником энергии в клетке являются молекулы глюкозы. Энергия, выделяющаяся при расщеплении глюкозы, запасается в молекулах АТФ — универсальном аккумуляторе энергии. У растений АТФ образуются в хлоропластах в процессе фотосинтеза и в митохондриях. Использование АТФ позволяет организму легко и быстро высвобождать и запасать энергию.

По строению АТФ сходна с адениловым нуклеотидом, входящим в состав РНК, только вместо одного остатка фосфорной кислоты (фосфата) в состав АТФ входят три остатка (см. рис.). Клетки не в состоянии содержать кислоты в заметных количествах — только их соли. Поэтому фосфорная кислота входит в АТФ в виде остатка.

Под действием специальных ферментов молекула АТФ подвергается гидролизу, то есть присоединяет H_20 и расщепляется с образованием аденозиндифосфорной кислоты (АДФ). Этот процесс называют дефосфорилированием (потерей фосфата):

$$\text{АТФ} + H_2O \rightarrow \text{АДФ} + H_3PO_4$$

Эта реакция обратима: АДФ может присоединять фосфат (фосфорилироваться) и переходить в АТФ, аккумулируя энергию органических соединений, полученных с пищей. Разрушение пептидной связи высвобождает лишь 12 кДж/моль энергии. А связи, которыми присоединены остатки фосфорной кислоты, высокоэнергетичны (их еще называют макроэргическими): при разрушении каждой из них выделяется 40 кДж/моль энергии. Поэтому *АТФ играет в клетках центральную роль универсального биологического аккумулятора энергии*.

Превращение АТФ в АДФ

Молекулы АТФ синтезируются в митохондриях и хлоропластах (лишь незначительное их количество синтезируется в цитоплазме), они обеспечивают энергией все процессы жизнедеятельности, без АТФ клетка не может существовать.

За счет энергии АТФ происходит деление клетки, осуществляется активный перенос веществ через клеточные мембраны, поддержание мембранного электрического потенциала в процессе передачи нервных импульсов, биосинтез высокомолекулярных соединений, физическая работа и т. д.

Синтез АТФ из АДФ происходит за счет энергии, выделяющейся при окислении углеводов, липидов и других веществ.

На выполнение умственной работы также затрачивается большое количество АТФ. По этой причине людям умственного труда требуется повышенное количество глюкозы, благодаря расщеплению которой происходит синтез АТФ.

Другие соединения. Кроме рассмотренных в настоящей главе соединений, клетки синтезируют и множество других веществ, также необходимых для жизнедеятельности организма. Рассмотрим некоторые из них.

Наряду с гормонами, используемыми организмом (см. § 4), существуют так называемые феромоны, посредством которых насекомые сообщают друг другу о нахождении пищи, опасности, привлекают особей другого пола. Действие феромонов на организм столь ощутимо, что живые существа распознают их в ничтожных количествах. Шелкопряды чувствуют запах ароматической железы другой особи на расстоянии до 3 км.

Существуют гормоны и у растений — фитогормоны. Они ускоряют рост и созревание плодов. Кроме гормонов клетки растений синтезируют соединения, привлекающие опыляющих насекомых и отпугивающие растительноядных. Растения способны вырабатывать и вещества, подавляющие рост конкурирующих видов.

Витамины (<лат. vita жизнь) — необходимые для жизни соединения, которые организм человека не способен синтезировать или синтезирует в недостаточных количествах (за исключением витамина D) и должен получать с пищей. Многие витамины являются коферментами — соединениями, входящими в состав активного центра ряда ферментов; без коферментов многие ферменты не активны. Некоторые коферменты служат переносчиками групп атомов, отщепляемых ферментами.

К *жирорастворимым витаминам* относят следующие.

Витамин А входит в состав зрительного пигмента. При его недостатке развивается куриная слепота (ухудшение сумеречного зрения), нарушается работа иммунной системы, замедляется рост.

Витамин D способны синтезировать клетки кожи под действием солнечного света, он содержится в больших количествах в печени морских животных. Его недостаток приводит к нарушению обмена ионов кальция, отвечающих за минерализацию костной ткани, при этом у детей возникает рахит — размягчение и деформация костей.

Витамин E защищает липиды клеточной мембраны от окисления. Недостаточное количество этого витамина в пище приводит к разрушению эритроцитов и слабости мышц.

Витамин K отвечает за свертываемость крови. Его дефицит приводит к частым и длительным кровотечениям.

К водорастворимым относят следующие витамины, не имеющие общих свойств с липидами.

Витамин C (аскорбиновая кислота) участвует в формировании и поддержании структуры хрящей, костей, зубов, образовании гемоглобина и эритроцитов.

Витамины группы B, как и другие витамины, входят в состав коферментов. Многие витамины группы B, витамин K синтезируются бактериями пищевого тракта. Прием антибиотиков приводит к интенсивной гибели бактерий в организме, в том числе и бактерий кишечника. Поэтому после приема антибиотиков рекомендуется принимать и эти витамины.

Суточная потребность человека в витаминах составляет, как правило, несколько микрограммов.



1. В чем состоит основная функция АТФ?
2. Какие связи называют макроэргическими?
3. Назовите органеллы, синтезирующие АТФ. За счет какой энергии происходит этот синтез?
4. Почему спортсменам и людям умственного труда требуется особенно много глюкозы?
5. Какие соединения называют феромонами, фитогормонами?

Глава 2. СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИИ КЛЕТКИ

Клетка способна к самовоспроизведению, саморегуляции и самосохранению. Она обладает всеми свойствами живой системы: растет, размножается, осуществляет обмен веществ и энергии, реагирует на внешние раздражители и способна к движению. Ни одна из ее составных частей не обладает совокупностью этих качеств. Поэтому ***клетка является наименьшей биосистемой — элементарной единицей жизни***.

В процессе жизнедеятельности различные функции клетки осуществляются ее составными частями — поверхностным аппаратом, органеллами (органоидами) и ядром. Органеллы могут иметь мембрану (мембранные), а могут и не иметь ее (немембранные).

Клетка бактерий не имеет оформленного ядра. Такие организмы называют *прокариотами* (<лат. pro вместо, раньше + греч. karion ядро). Существа, клетки которых содержат отделенные мембраной от цитоплазмы ядра, ученые назвали *эукариотами* (<греч. eu полностью), это — растения, грибы, простейшие, животные и человек.

Существуют организмы, состоящие из одной клетки, — бактерии, дрожжи, простейшие и одноклеточные водоросли. Многоклеточные организмы состоят из групп клеток, различных по строению. Например, из нервных, костных и мышечных клеток — у животных; клеток корня, стебля и листьев — у растений.

§ 7. Клеточная теория

Термин «клетка» ввел в 1665 г. английский натуралист Р. Гук. Рассматривая в микроскоп собственной конструкции тонкий срез пробкового дерева, Гук увидел, что вещество состоит из ячеек, названных им клетками. В 1833 г. шотландский ботаник Р. Броун обнаружил внутри клеток растений плотные образования, которые назвал ядрами. В 1838 г. немецкий биолог М. Шлейден первым пришел к замечательному выводу: ядро является обязательным элементом строения всех клеток. Это открытие положило основу для изучения структуры всех клеток.

Практически одновременно с исследованиями М. Шлейдена его соотечественник физиолог Т. Шванн обнаружил похожие на ядра образования и в клетках животных. Вместе эти ученые сформулировали клеточную теорию, основное положение которой гласит: *все растительные и животные организмы состоят из клеток,*

сходных по строению. Т. Шванн и М. Шлейден полагали, что новые клетки могут формироваться в организме из межклеточного вещества.

В 1858 г. немецкий анатом Р. Вирхов доказал, что каждая новая клетка возникает только от такой же клетки путем деления. Ему принадлежит знаменитое высказывание «Всякая клетка — от клетки».

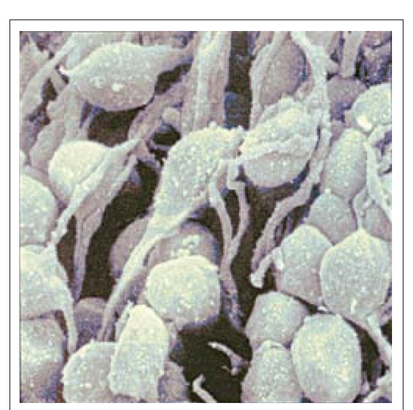
Русский академик К. Бэр обнаружил у млекопитающих яйцеклетку и показал, что с этой единственной клетки начинают свое развитие все организмы. Таким образом, клетка — не только самая простая единица живого, но и элементарная единица развития жизни.

Успехи *цитологии* (<греч. kytos сосуд), изучающей строение и функции клеток, неразрывно связаны с развитием методов исследования: совершенствованием светового микроскопа и появлением электронного, применением методов выявления клеточных структур путем избирательного окрашивания специальными красителями.

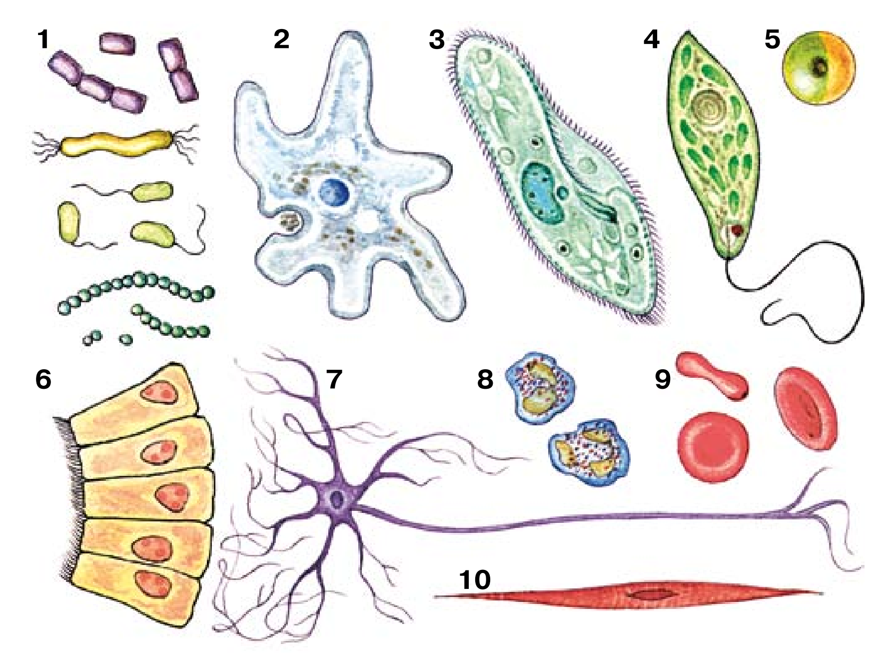
Микроскоп голландского исследователя Антони ван Левенгука (конец XVII в.) увеличивал объекты в 270 раз. Современные световые микроскопы дают увеличение в 3 000 раз, а электронные — в 1 000 000 раз. Появившиеся в 1940-х годах электронные микроскопы вместо света используют поток электронов, а вместо линз — электромагнитные поля, фокусирующие электроны. С использованием электронного микроскопа удалось исследовать устройство органелл клетки.

Состав и строение клетки изучают также методом центрифугирования. Ткани предварительно измельчают до разрушения наружных плазматических мембран и помещают в центрифугу. Различные клеточные органеллы имеют разную плотность. В центробежном поле вращающейся центрифуги более плотные органеллы осаждаются быстрее, а менее плотные — медленнее. В результате происходит разделение на группы (фракции).

Для изучения однотипных растительных или животных клеток широко используется метод культуры клеток и тканей. Из одной или нескольких клеток на специальной питательной среде выращивается группа клеток или даже целое растение.



Клетки человеческого мозга — нейроны



Различные формы клеток:
1 — бактерии, 2 — амеба, 3 — инфузория-туфелька, 4 — эвглена зеленая, 5 — икринка (яйцеклетка), 6 — эпителий кишечника, 7 — нервная клетка, 8 — лейкоциты, 9 — эритроциты, 10 — мышечная клетка

Клеточная теория, основанная в XIX веке, сохраняет свое значение в современной науке. Теперь она дополнена результатами многочисленных исследований химического состава, строения и функций клеток различных организмов, изучением закономерностей их развития и размножения. Современная клеточная теория включает следующие основные положения:

1. Все организмы состоят из клеток, которые являются их основными структурными и функциональными единицами.
2. Клетки всех организмов сходны по своему химическому составу, строению и функциям.
3. Каждая новая клетка образуется только в результате деления материнской.
4. В многоклеточных организмах клетки специализируются по функциям и образуют ткани.
5. Клетки многоклеточного организма содержат одинаковую генетическую информацию, но отличаются активностью различных генов, что лежит в основе дифференциации (различии) клеток в разных тканях.



Строение растительной клетки

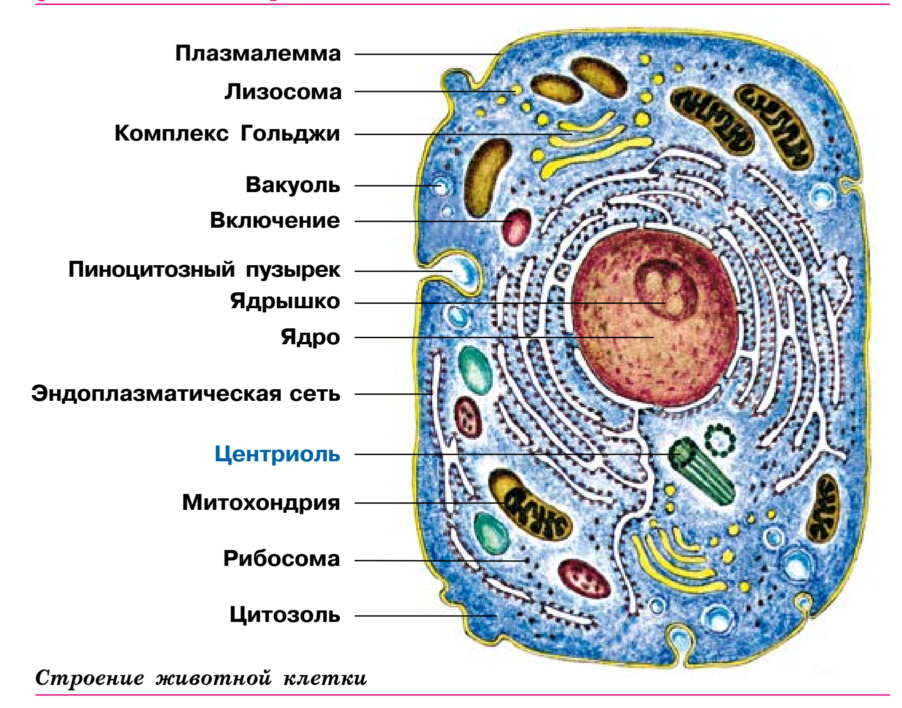
Жизнь многоклеточного организма строится в удивительно слаженном взаимодействии его клеток. Так, эритроциты обеспечивают кислородом все клетки организма, секреторные клетки выделяют гормоны для многих других клеток, а нейроны образуют целые сети в организме.

Неклеточную форму жизни имеют лишь вирусы. Они очень просты по строению, их изучением занимается вирусология.

В зависимости от предназначения клетки ее форма и размер могут быть самыми различными. Клетки покровных тканей кубические или цилиндрические, нервные клетки имеют отростки, вытянутые в длинные нити. Встречаются шаровидные и дисковидные клетки. Средний размер растительных клеток 30—40 микрометров (1 мкм $= 10^{-6}$ м), животных — 20—30 мкм. Длина отдельных отростков нервных клеток может достигать 1 метра.

При всем многообразии клетки сходны по своему химическому составу, строению и функциям. Все они имеют ядро и цитоплазму. В цитоплазме в световой микроскоп видны органеллы.

Исследование жизнедеятельности клеток имеет большое значение для предупреждения и лечения многих заболеваний. Именно в клетках появляются и развиваются нарушения, приводящие к серьезным расстройствам всего организма. Раковые опухоли представляют собой результат наследственных злокачественных изменений, возникающих в клетках. Недостаточная активность



Строение животной клетки

группы клеток поджелудочной железы, вырабатывающих гормон инсулин, приводит к заболеванию сахарным диабетом.

Исключительно слаженное функционирование каждой из клеток в огромной их совокупности, составляющей организм, всегда поражало исследователей. В общности построения всех организмов из клеток, сходных по составу, строению и функциям, одни ученые видят материалистическое эволюционное родство всего живого, другие — единство грандиозного замысла. Основатель клеточной теории немецкий ботаник Маттиас Шлейден известен высказыванием: «Именно истинный-то и точный натуралист и не может никогда сделаться материалистом и отрицать душу, свободу, Бога». А шотландский ботаник Роберт Броун, обнаруживший в клетках ядро (и открывший хаотическое «броуновское движение»), писал: «Познание Бога в мире — это первое движение ума, пробуждающегося от житейской суеты».

Далее мы рассмотрим строение и функционирование основных органелл эукариотической клетки.



1. Кем и когда создавалась клеточная теория? В чем суть открытий Р. Вирхова и К. Бэра?
2. Раскройте основные положения клеточной теории.
3. Опишите методы изучения состава и строения клеток.
4. Почему важно изучать строение и функционирование клеток?

§ 8. Поверхностный аппарат клетки

Каждая клетка многоклеточного организма взаимодействует с окружающей средой и соседними клетками через поверхностный аппарат, выполняющий три основные функции: *барьерную, транспортную и рецепторную (воспринимающую).*

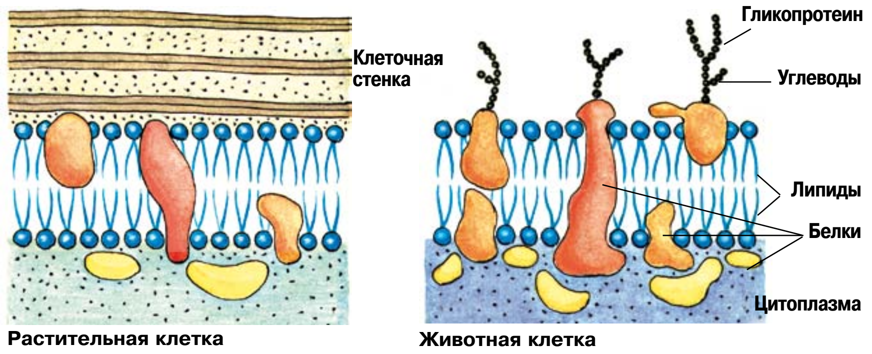
Оболочка. Внешняя часть поверхностного аппарата клеток растений и бактерий представляет собой плотную клеточную стенку (0,1—4 мкм). Она служит жестким каркасом для клетки, защищает ее, обеспечивает связь клеток в ткань.

Наружная плазматическая мембрана (плазмалемма). Животные клетки оболочки не имеют, они окружены наружной плазматической мембраной. Ее внешнюю часть называют *гликокаликсом* (<греч. glykys сладкий + лат. callus оболочка). Гликокаликс очень тонкий (0,03—0,04 мкм), пластичный и неразличим в световом микроскопе. Он состоит из гликопротеинов (углеводов, соединенных с белками).

Каждому типу клеток соответствует свой комплекс гликолипидов и гликопротеинов, по этим меткам клетки «узнают» друг друга. Если клетки печени смешать, к примеру, с клетками почек, то они самостоятельно рассортируются в две отдельные группы. Из-за индивидуальных различий в структуре гликокаликса пересаженные ткани или органы, как правило, не приживаются. Гликокаликс слабо развит в клетках роговицы, хрящей и костей — эти ткани приживаются успешнее.

Некоторые белки гликокаликса являются *рецепторами*. Рецепторы воспринимают воздействия из внешней среды и обеспечивают контактное торможение роста. Новая клетка растет только до тех пор, пока не заполнит отведенное для нее пространство. Утратой контактных способностей характеризуется большинство клеток злокачественных опухолей: они продолжают расти и после того, как заполнят отведенное для них пространство. Гликокаликс служит также для связи клеток в ткань. Если поверхности соседних клеток ткани относительно плоские, то контакт называют простым (клетки эпителия); если поверхности клеток взаимно извиты, это контакт типа замка. Наиболее прочным является десмосомный контакт между клетками животных: мембраны соседних клеток «сшиты» поперечными волокнами. Между нервными и мышечными клетками — особые контакты (синапсы), обеспечивающие передачу электрических и химических сигналов.

В основе строения клетки лежит мембранный принцип: внутриклеточное пространство пересекает множество мембран, связанных между собой, с мембранами ряда органелл и ядра. Все мембраны имеют сходное строение. Толщина их очень мала (около 0,01 мкм), поэтому их изучают с помощью электронного микроскопа. Мембраны состоят из липидов и белков. Липиды об-

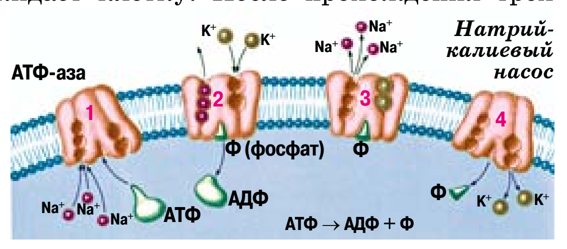


Строение поверхностного аппарата

разуют двойной слой. Белки погружены в слой липидов на различную глубину или располагаются на его внутренней и внешней поверхностях. На белках, находящимися на внешней стороне наружной мембраны, расположены углеводы гликокаликса.

Плазмалемма не только отделяет содержимое клетки от внешней среды, но и осуществляет транспорт веществ. Через нее в межклеточное пространство выводятся синтезированные для других клеток соединения: белки, углеводы, гормоны, а внутрь поступает вода, ионы солей, органические молекулы. Проникновение молекул в сторону их меньшей концентрации называют *пассивным транспортом*. Он происходит без затрат энергии и бывает двух видов: простая диффузия (для малых гидрофобных молекул мембрана проницаема) и облегченная диффузия, осуществляемая белками-переносчиками (гидрофильные молекулы, ряд ионов не способны проходить через мембрану). Для проникновения молекул в сторону их большей концентрации требуются затраты энергии АТФ, такой перенос называют *активным транспортом*, его также осуществляют специфические белки-переносчики.

Примером активного транспорта является *натрий-калиевый насос*. При повышении концентрации Na^+ внутри клетки фермент натрий-калий-зависимая АТФ-аза активируется и связывает Na^+. Происходит фосфорилирование одной из субъединиц ферментного комплекса, в ней открывается натриевый канал, через который Na^+ покидает клетку. После прохождения трех ионов Na^+ ферментный комплекс связывает K^+, дефосфорилируется с открытием калиевого канала и транспортирует внутрь клетки не три, но уже только два иона K^+.



Натрий-калиевый насос

Таким образом поддерживаются необходимые для жизнедеятельности концентрации ионов и мембранный потенциал клетки.

Обмен веществами между соседними клетками растений обеспечивают узкие (30—60 нм) каналы (плазмодесмы), выстланные клеточными мембранами. Через плазмодесмы вода, соли, различные питательные вещества распространяются по клеткам растений, обеспечивая их тесное взаимодействие.

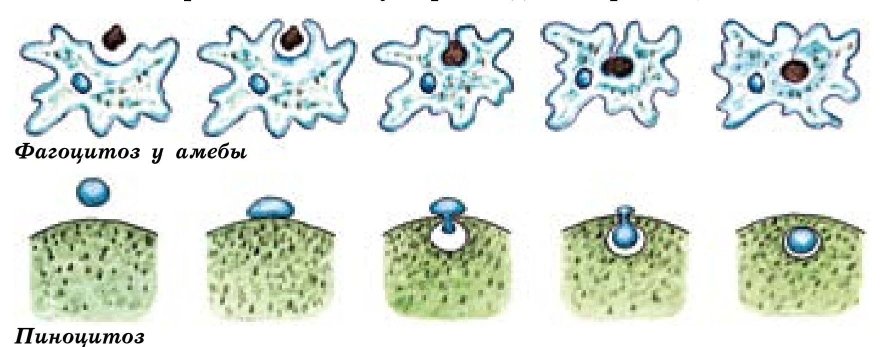
На поверхности некоторых клеток животных расположены микроворсинки — тонкие выросты мембраны, заполненные цитоплазмой. Большое количество микроворсинок имеют клетки кишечника. Это существенно увеличивает его площадь и облегчает процесс переваривания и всасывания пищи.

Фагоцитоз (<греч. phagos пожиратель). Пластичность плазмалеммы позволяет клетке захватывать частицы пищи, крупные органические молекулы, бактерии. В результате этого явления, называемого фагоцитозом, формируются пищеварительные вакуоли, в которых захваченные вещества перерабатываются с помощью ферментов. Подобным образом амеба и другие простейшие поглощают частицы пищи и более мелких одноклеточных. Растения и бактерии имеют жесткие клеточные стенки, неспособные охватывать пищу, поэтому фагоцитоз для них невозможен.

В организмах человека и позвоночных животных лишь немногие клетки активно используют фагоцитоз. Некоторые лейкоциты (в основном макрофаги и нейтрофилы) защищают организм, захватывая бактерии, чужеродные и токсичные частицы. Цитоплазма этих клеток содержит множество лизосом, расщепляющих органические соединения (см. с. 45).

Явление фагоцитоза открыто русским биологом И. И. Мечниковым и положено им в основу клеточной теории иммунитета.

Пиноцитоз (<греч. pino пить) — захват клеточной поверхностью и поглощение клеткой жидкости. Плазматическая мембрана не охватывает каплю, а образует углубление. Капля жидкости погружается, а затем мембрана смыкается с образованием пузырька диаметром 0,07—2 мкм.



Фагоцитоз у амебы

Пиноцитоз

Макрофаг тянется к бактерии и захватывает ее посредством фагоцитоза



На фаго- и пиноцитоз клетка затрачивает энергию. Пиноцитоз более универсален, этим способом питаются клетки животных, растений и грибов.

Фаго- и пиноцитоз объединяют одним словом — *эндоцитоз*; обратный процесс носит название *экзоцитоза*.



1. Чем различаются оболочки растительных и животных клеток?
2. Каковы основные функции клеточной оболочки?
3. В чем предназначение гликокаликса?
4. Каким образом вещества поступают в клетку?

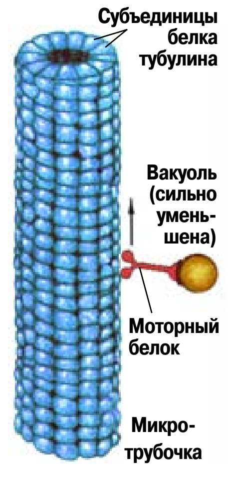
§ 9. Цитоплазма и ее органеллы

Цитоплазма — внутреннее содержимое клетки за исключением ядра. В цитоплазме протекает основная часть обменных процессов организма. В ее состав входят следующие органеллы: мембранные — эндоплазматическая сеть, митохондрии, пластиды, аппарат (комплекс) Гольджи, лизосомы, вакуоли (накопительные, секреторные, пищеварительные); немембранные — рибосомы, клеточный центр, компоненты цитоскелета и органеллы движения некоторых клеток. Органеллы являются постоянными составляющими цитоплазмы.

В цитоплазме содержатся также и непостоянные структуры, которые в процессе жизнедеятельности то появляются, то исчезают. Их называют включениями. Это могут быть капельки жира, глыбки гликогена, секреторные гранулы или зерна крахмала.

Пространство между органеллами заполнено *цитоплазматическим матриксом* (<греч. matrix основа) — *цитозолем* (или *гиалоплазмой*). Постоянное движение цитозоля способствует необходимому перемещению веществ и клеточных структур, обеспечивает взаимодействие компонентов клетки. Цитозоль содержит:

воды	75—80 %
белков и аминокислот	10—12 %
углеводов	4—6 %
липидов	2—3 %



Транспорт вакуоли вдоль микротрубочки

Цитоскелет клетки (ее опорно-двигательная система) составлен белковыми нитями: микротрубочками и актомиозиновыми фибриллами. Элементы цитоскелета связаны с плазмалеммой, мембранами органелл и ядра. Микротрубочки образуют веретено деления; они способны изменять свое положение, удлиняться и укорачиваться, придавая цитоскелету пластичность. В комплексе с моторными белками (кинезин, динеин) микротрубочки осуществляют основную часть внутриклеточного транспорта: перемещают органеллы, гранулы и вакуоли, частицы. Скольжение моторных белков вдоль микротрубочек активируется энергией АТФ.

Эндоплазматическая сеть (ЭПС) — сложная система многочисленных мелких мембранных полостей и канальцев, общий объем которых может достигать половины объема клетки. Доля мембран органелл в общей площади клеточных мембран составляет:

ЭПС	50—60 %	плазмалеммы	2—5 %
митохондрий	20—40 %	лизосом	0,4 %
аппарата Гольджи	7—10 %		

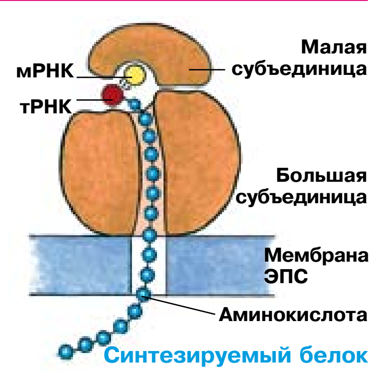
Стенки ЭПС являются мембранами, сходными по строению с наружной. Часть мембран ЭПС — шероховатые (гранулярные), другие — гладкие. К поверхности шероховатых мембран прикреплено множество рибосом, которые и придают мембранам шероховатый вид. На рибосомах идет синтез белков. На мембранах шероховатой ЭПС происходит и синтез мембранных липидов. Из белков и липидов здесь формируются клеточные мембраны гладкой ЭПС, которая является вторичной по отношению к шероховатой. На мембранах гладкой сети расположены ферментные системы, участвующие в синтезе жиров и углеводов. Особенно развита ЭПС в клетках с интенсивным обменом веществ.

Основная функция ЭПС — синтез и транспорт органических веществ (выводимых из клетки или для лизосом), формирование мем-



Строение шероховатой ЭПС

Рибосома на мембране ЭПС



бранных структур (гликопротеинов, липидов). Мембраны ЭПС выполняют еще и разделительную функцию для ферментных систем, осуществляющих несовместимые химические процессы. Каждая реакция протекает в определенном месте и в определенной последовательности, ферменты образуют своего рода каталитические конвейеры.

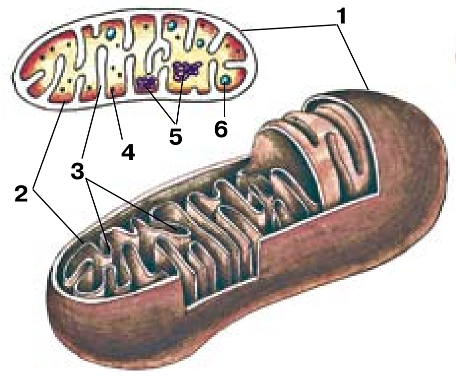
Рибосомы представляют собой мелкие (около 0,02 мкм) округлые немембранные органеллы, состоящие из большой и малой субъединиц. Субъединицы формируются в клеточном ядре и выводятся в цитоплазму. На время синтеза белка субъединицы соединяются в целостные функциональные рибосомы (при участии катионов магния). Клетка любого организма содержит тысячи рибосом. Часть их прикреплена к мембранам ЭПС, другие располагаются свободными группами. В состав рибосом входят рРНК (50 % массы) и более 100 белковых молекул. Рибосомные РНК составляют структурный каркас и выполняют функцию катализаторов при синтезе белка.

Функция рибосом — синтез белка. На одной мРНК может «работать» либо одна рибосома, либо сразу несколько рибосом, перемещающихся друг за другом по цепи мРНК. Такой комплекс рибосом носит название *полисомы* (см. § 17).

Белки, синтезируемые для нужд клетки, как правило, поступают в цитоплазму. Все белки, производимые «на экспорт» или для лизосом, сразу с рибосом попадают в ЭПС (многие пищеварительные ферменты очень активны и способны переварить саму клетку) и по ее каналам перемещаются к аппарату Гольджи, а от него в тот участок клетки или в ту часть организма, где требуется этот вид белков.

Митохондрии (<греч. mitos нить + chondros зернышко) содержатся в цитоплазме практически всех типов эукариотических клеток. Клетки человека содержат от сотен митохондрий (клетки тканей и органов) до сотен тысяч (яйцеклетки). Митохондрии могут иметь сферическую, овальную или нитевидную форму. Средний размер — от 0,2 до 10 мкм. Митохондрии хорошо различимы в световой микроскоп, а их внутреннее устройство изучают с помощью электронного микроскопа.

Митохондрии покрыты двумя мембранами. Наружная мембрана гладкая, внутренняя образует складки — *кристы* (<лат. crista гребень). Складки увеличивают площадь мембраны, повышая ее активность в биохимических процессах. Количество





Митохондрия (справа микрофотография): 1 — наружная мембрана, 2 — внутренняя мембрана, 3 — кристы, 4 — рибосомы, 5 — ДНК, 6 — включения

крист внутренней мембраны — от нескольких десятков до нескольких сотен, в зависимости от функциональной активности клетки. Больше всего их в митохондриях клеток мышц.

На внутренней мембране расположены ферментные комплексы, осуществляющие реакции полного окисления некоторых органических веществ (окислительного фосфорилирования, см. § 14). При этом освобождается энергия, которую митохондрии запасают в макроэргических связях АТФ. Молекулы АТФ, синтезируемые митохондриями, обеспечивают энергией практически все процессы жизнедеятельности клетки. Поэтому *митохондрии называют энергетическими органеллами, «силовыми станциями» клетки.*

Наибольшее количество митохондрий содержится в клетках, как правило, несущих большую нагрузку (клетки сердечной мышцы) или активно участвующих в процессах синтеза (печень), также требующих существенных энергозатрат в виде АТФ.

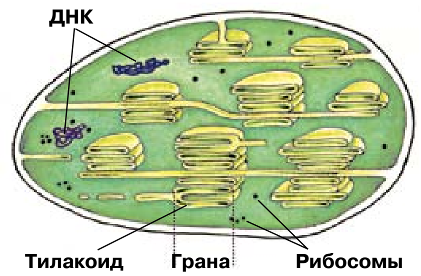
Пространство, ограниченное внутренней оболочкой митохондрии, заполнено *митохондриальным матриксом*. Основу его составляют ферменты, осуществляющие реакции окислительного фосфорилирования, в матриксе расположены небольшие кольцевые молекулы митохондриальной ДНК, рибосомы. Митохондриальная ДНК кодирует все рРНК и тРНК, необходимые рибосоме, и некоторые белки (основная часть белков для рибосом закодированы в ядерной ДНК). Эти молекулы синтезируются митохондриальными рибосомами. Рибосомы матрикса по строению значительно отличаются от цитоплазматических.

Новые митохондрии образуются путем деления имеющихся. Их жизненный цикл довольно краткий — например, в клетках печени они живут около 10 дней.

Пластиды (<греч. plastides образующие, создающие) синтезируют и накапливают питательные вещества. Эти органеллы содержит только цитоплазма клеток растений, клетки животных и грибов пластид не имеют.

Существует три основных типа пластид: зеленые — *хлоропласты* (<греч. chloros зеленый); красные, оранжевые и жел-





Хлоропласт (слева микрофотография)

тые — *хромопласты* (<греч. chroma цвет); бесцветные — *лейкопласты* (<греч. leukos белый).

Хлоропласты содержатся почти во всех клетках зеленых растений и водорослей, на которые падает свет, но особенно много их в клетках листьев. Обычно они имеют форму дисков диаметром 4—6 мкм. В клетке высших растений содержится 20—50 хлоропластов. Зеленый цвет растениям придает магнийсодержащий пигмент хлорофилл (<греч. chloros зеленый + phyllon лист), для образования которого необходим солнечный свет.

Хлоропласты — органеллы клетки, в которых происходит *фотосинтез* — образование органических соединений из CO_2 и H_2O при помощи энергии света. Благодаря наличию хлорофилла и специального комплекса ферментов в хлоропластах происходит превращение солнечной энергии в энергию химических связей синтезируемых соединений. Значительное количество участвующих в фотосинтезе молекул АТФ синтезируют сами хлоропласты.

По строению хлоропласты напоминают митохондрии. Они имеют две мембраны (внутреннюю и внешнюю), внутренняя образует около 50 *гран*. Каждая грана состоит из стопки мембранных мешочков — *тилакоидов,* в мембранах тилакоидов содержится хлорофилл. Для равномерной освещенности граны расположены в шахматном порядке. Пространство между гранами заполнено вязкой *стромой*, содержащей белки-ферменты фотосинтеза, рибосомы, кольцевые пластидные ДНК и различные включения. Рибосомы формируют часть необходимых для хлоропластов белков, в том числе и ферментов, осуществляющих образование хлорофилла и процесс фотосинтеза.

Образующиеся в процессе фотосинтеза углеводы формируют включения — крахмальные зерна. Размер зерен (0,2—7 мкм) увеличивается днем на ярком свету, когда в хлоропластах идет активный фотосинтез, и уменьшается ночью, когда преобладает отщепление моносахаридов от крахмала и использование их в качестве источника энергии. Размножаются хлоропласты подобно митохондриям — делением, которое не связано с делением самой клетки.

Хромопласты находятся в стеблях, листьях, плодах и цветках растений. Наличие в них цветных пигментов — каротиноидов — придает окраску лепесткам цветов и плодам. Характерная окраска привлекает насекомых и животных, способствуя опылению цветов и распространению семян.

Лейкопласты — бесцветные пластиды, синтезирующие и запасающие питательные вещества (крахмал, белки, липиды). Лейкопласты содержатся в цитоплазме клеток неокрашенных частей растений (корня, клубня, стебля). Заполненные крахмалом лейкопласты утрачивают функцию синтеза веществ и становятся *амилопластами*.

Одни пластиды способны превращаться в другие. На свету лейкопласты картофеля превращаются в хлоропласты, этим и объясняется позеленение его клубней. Осенью хлоропласты растений переходят в хромопласты, поэтому плоды и листья краснеют и желтеют. В некоторых растениях, например в моркови, лейкопласты превращаются в хромопласты. Все эти превращения происходят только в одном направлении — необратимо.



1. Каковы строение и основные функции ЭПС?
2. В каких клетках особенно развита ЭПС?
3. Во сколько раз площадь мембран ЭПС больше площади внешней мембраны? Какой вывод о строении клетки можно сделать?
4. Сравните строение и функции митохондрий и хлоропластов.
5. Расскажите о взаимопревращениях пластид.

§ 10. Органеллы цитоплазмы и включения

Аппарат Гольджи (АГ) — универсальная мембранная органелла размером 5—10 мкм, которую содержат все эукариотические клетки. Ее открыл в 1898 г. итальянский ученый К. Гольджи. Аппарат состоит из нескольких приплюснутых полостей, множества пузырьков и трубочек. Структуры АГ содержат в виде секрета, готового к выделению, синтезированные на мембранах ЭПС белки, углеводы, жиры и другие вещества. Эти соединения переносятся пузырьками ЭПС на обращенную к ядру поверхность АГ и далее в АГ подвергаются химическим преобразованиям, сортировке и упаковке в полости и мембранные пузырьки.

Все соединения покидают АГ с его внешней стороны (обращенной к наружной мембране). Постоянный поток мембранных пузырьков от ЭПС на аппарат Гольджи и далее к внешней плазматической мембране компенсируется эндоцитозом (см. с. 39).

В организмах животных самые крупные АГ имеют клетки желез наружней секреции (выделяют слюну, желудочный

Аппарат Гольджи (показана последовательность взаимопревращения мембранных структур)



сок). Секреторные гранулы (пузырьки) АГ клеток поджелудочной железы выводят в межклеточное пространство гормон инсулин. Пузырьки с мембранными белками и липидами используются клеткой для регенерации (возобновления) наружной плазматической мембраны и гликокаликса. Некоторая часть липидов и полисахаридов синтезируется непосредственно на мембранах АГ. Из пузырьков АГ формируются лизосомы.

Лизосомы (<греч. lysis растворение + soma тело) встречаются во всех клетках животных, растений и грибов. Лизосомы покрыты мембраной. Это самые маленькие мембранные органеллы, их овальные тельца имеют размер всего 0,1—0,4 мкм. Они содержат десятки видов ферментов, способных расщеплять самые разные органические соединения: нуклеиновые кислоты, белки, углеводы, жиры. Лизосомы расщепляют вещества, поступившие в клетку извне или же синтезированные органеллами клетки и уже выполнившие свою функцию.

В одноклеточных и примитивных многоклеточных организмах (у человека — в клетках почек и печени) лизосомы осуществляют *внутриклеточное пищеварение*. Они подходят к фаго- или пиноцитозным пузырькам с пищей и сливаются с ними, образуя пищеварительную вакуоль. Вещества, полученные в результате переваривания пищевой частицы, выходят через мембрану лизосом в цитоплазму и используются клеткой в различных процессах жизнедеятельности. Ферменты для лизосом синтезируются рибосомами на шероховатой ЭПС.

В случае недостатка пищи лизосомы способны переваривать другие органеллы самой клетки, наименее важные для ее жизни. Каким образом лизосомы распознают органеллы, подлежащие разрушению, остается загадкой. Более того, лизосомы способны переваривать целые группы клеток организма. Примером их деятельности служит утрата хвоста у головастика (продукты распада используются для формирования других органов), за-

мена хрящевой ткани на костную в процессе роста. Покровные ткани состоят из отмирающих клеток с лизированными ядром и цитоплазмой (разрушенными лизосомами).

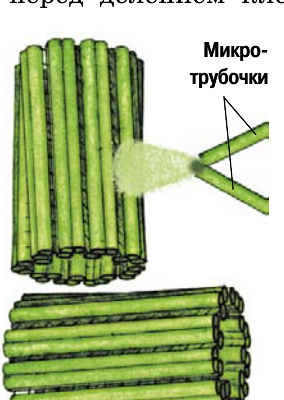
Лизосомы обеспечивают клетку простыми органическими соединениями и устраняют разрушившиеся компоненты — словом, активно участвуют во *внутриклеточной регенерации*. Лизосомы выполняют еще и *защитную функцию*, разрушая попавшие в клетку чужеродные микроорганизмы и макромолекулы.

Обратим внимание на взаимодействие частей клетки. Из структур аппарата Гольджи формируются лизосомы. Образуемые ими продукты расщепления являются материалом для синтеза соединений, составляющих все органеллы. Жиры и полисахариды синтезируются ферментными комплексами гладкой ЭПС, белки — рибосомами цитозоля и шероховатой ЭПС. Аппарат Гольджи накапливает синтезируемые соединения и по мере необходимости поставляет их органеллам, возобновляет мембраны и гликокаликс. В клетках растений часть полезных соединений синтезируются и накапливаются пластидами. Все эти процессы обеспечиваются энергией молекул АТФ, синтезируемых в митохондриях (и хлоропластах растений).

Клетка представляет собой единую систему, в которой тесно взаимосвязаны наружная плазматическая мембрана, эндоплазматическая сеть, аппарат Гольджи, лизосомы и другие органеллы.

Клеточный центр. Эта немембранная органелла располагается в уплотненном участке цитоплазмы вблизи ядра. Она состоит из двух цилиндриков длиной не более 1 мкм, называемых центриолями и расположенных перпендикулярно друг к другу. Центриоли состоят из 9 пучков, в каждом — по 3 микротрубочки. Они играют важную роль в процессе деления клеток животных и низших растений: с них начинается рост веретена деления. Клеточный центр — самовоспроизводящаяся органелла, перед делением клетки количество центриолей удваивается. При разрушении центриолей клетка теряет способность к делению.

Клеточный центр играет *ключевую роль в формировании микротрубочек цитоскелета*. Другая функция центриолей — участие в образовании жгутиков и ресничек. В клетках высших растений центриолей нет, и на поверхности их клеток жгутики и реснички отсутствуют. Центриоли входят в состав клеток животных, водорослей, некоторых грибов.



Клеточный центр

Органеллы движения. Клетки организмов находятся в постоянном движении. Перемещаются и сами клетки, и органеллы внутри них. Лимфоциты многоклеточных, амебы перемещаются с помощью ложноножек — выростов, образующихся на поверхности клетки посредством актомиозиновых фибрилл цитоскелета. С помощью сокращений актомиозиновых фибрилл (нитей мышечных клеток) передвигаются многоклеточные животные и человек. В актомиозиновых фибриллах нити белков миозина и актина расположены параллельно оси мышц. При поступлении ионов кальция происходит скольжение нитей во встречных направлениях: длина миофибрилл изменяется, сами актиновые и миозиновые нити при этом не укорачиваются (подобно тому при встречном движении поездов по соседним путям сокращается расстояние между хвостовыми вагонами).

Передвижение многих одноклеточных — инфузории-туфельки, жгутиконосца, эвглены зеленой — осуществляется посредством ресничек и жгутиков. Реснички и жгутики существенно различаются лишь по длине. При толщине около 0,25 мкм реснички имеют длину до 10 мкм, а жгутики — до 200 мкм. Они находятся внутри выростов плазмалеммы, не имеют собственной мембраны и поэтому относятся к немембранным органеллам.

Реснички и жгутики формируются на основе центриолей и имеют сходное с ними строение: содержат пучки микротрубочек. Колебания ресничек и жгутиков обусловлены взаимным скольжением микротрубочек. Согласованные мерцания ресничек вызывают перемещение клетки, а если клетка закреплена — создают поток жидкости вдоль ее поверхности. Жгутики способны совершать волнообразные или вращательные движения. Слизистая оболочка позвоночных и человека (например, трахеи) покрыта множеством ресничек (до 1 000 000 000/см^2). Они создают ток слизи, выводящий из организма твердые частицы, отмирающие клетки, вирусы и бактерии. Нарушение этого механизма у человека приводит к воспалению дыхательных путей и среднего уха.

Вакуоли (<греч. vacuus пустой) растений — ограниченные мембраной полости в цитоплазме. Они содержат растворы питательных веществ, солей и т. д. Яркая окраска лепестков фиалки, герани и примулы вызвана накоплением пигментов в вакуолях *их клеток*. Другие растения накапливают в вакуолях горькие



Строение жгутиков и ресничек

и ядовитые вещества, защищающие их от поедания хищниками. На долю вакуолей растительной клетки может приходиться до 95 % ее объема, животной (секреторные, пищеварительные) — не более 5 %.

Включения — отложения веществ, временно выведенных из обмена, или его конечных продуктов. Включения относят к непостоянным структурам клетки. Это могут быть капли жира, гранулы крахмала, гликогена или секреторные гранулы, отходы жизнедеятельности.

Компоненты животной клетки по занимаемому объему можно расположить в следующем порядке:

цитозоль 55 %	гладкая ЭПС+АГ 7 %
митохондрии 22 %	ядро 6 %
шероховатая ЭПС 9 %	лизосомы 1 %



1. Каково строение, функции лизосом, аппарата Гольджи?
2. Разъясните взаимодействие клеточных органелл.
3. Каковы функции клеточного центра?
4. Чем обусловлена яркость цветка фиалки?

§ 11. Ядро

Ядро играет важнейшую роль в жизнедеятельности клетки. В эукариотической клетке ядро отделено от цитоплазмы, имеет овальную форму и размер от 1 мкм (у некоторых простейших) до 1 мм (в яйцеклетках ряда рыб и земноводных). Обычное расположение ядра — в центре клетки. В растительных клетках крупные вакуоли оттесняют ядро на периферию.

Большинство клеток высших растений одноядерные. Часть клеток печени, мышц, костного мозга, а также клеток грибов содержат несколько ядер. В клетках низших растений и простейших количество ядер может достигать нескольких десятков.

В ядре находятся хромосомы, содержащие молекулы ДНК, поэтому оно выполняет важнейшие функции. *В клеточном ядре хранится генетическая информация всего организма.* Здесь она воспроизводится путем репликации ДНК. В соответствии с наследственной информацией происходят все обменные процессы: синтез и расщепление соединений, поглощение и выделение солей и т. д. Ядро, таким образом, реализуя наследственную информацию, *определяет внутриклеточный обмен веществ*.

Ядро покрыто оболочкой, состоящей из двух мембран. Внутренняя мембрана гладкая, а внешняя — шероховатая от множества покрывающих ее рибосом. В местах слияния мембран

образованы поры диаметром 90—120 нм. В этих порах специальные молекулярные структуры образуют *поровые комплексы*, регулирующие проникновение белков, нуклеиновых кислот из ядра в цитоплазму и обратно. Внешняя мембрана ядра соединяется с ЭПС, образуя единую мембранную систему клетки.



Микрофотография ядра

Ядерная оболочка изолирует содержимое ядра и предохраняет ДНК от разрушительных для нее ферментов цитоплазмы, а также от перемещений жесткого цитоскелета. Цитоплазма клетки находится в постоянном движении.

Форму ядра поддерживает кариоскелет, состоящий из тонких белковых фибрилл. Кариоскелет обеспечивает определенное расположение ДНК в ядре, предохраняя длинные цепи ДНК от спутывания. В желеобразной кариоплазме, заполняющей ядро, расположены разнообразные белки, нуклеотиды, ионы. В кариоплазме находятся ядрышки и хромосомы.

В состав хромосом кроме ДНК входят белки-гистоны, отвечающие за упаковку ДНК, а также белки, обеспечивающие функционирование хромосом, в том числе белки *репарации*, устраняющие нарушения в ДНК. Весь этот нуклеопротеиновый комплекс называют *хроматином*. В период между делениями хроматин деспирализован. Во время клеточного деления хромосомы скручиваются в плотные спирали, укорачиваются в тысячи раз и становятся заметными в световой микроскоп.

Я д р ы ш к и имеют вид округлых телец размером около 1 мкм. Обычно их в ядре несколько. Это — «мастерские» по производству субъединиц рибосом. В ядрышках происходит синтез рРНК, поэтому они находятся на участках хромосом, несущих гены, кодирующие эти РНК. Ядрышки не являются самостоятельной структурой, а состоят из скоплений рРНК и субъединиц рибосом. В процессе клеточного деления хромосомы спирализуются и уплотняются, субъединицы рибосом выходят в цитоплазму, и ядрышки исчезают. После деления они образуются вновь.



1. В чем состоит главная функция ядра? Каково строение ядра эукариотической клетки?
2. Как изменяется внешний вид хромосом перед делением клетки?
3. Как изменяется состав ядрышек в процессе деления клетки?
4. Что называют хроматином?

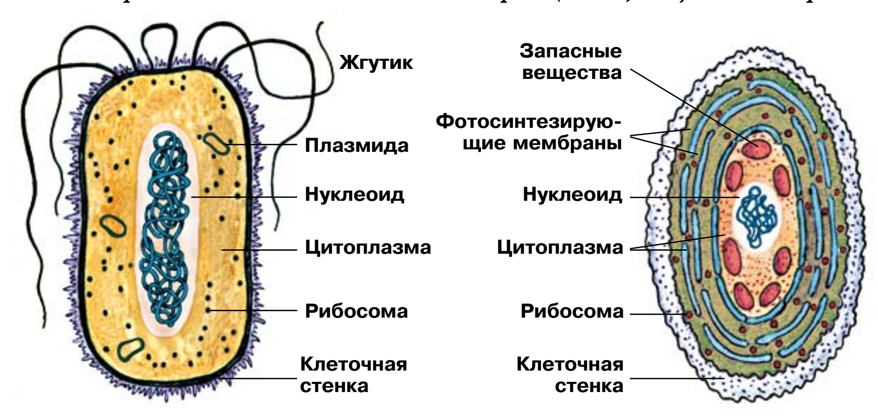
§ 12. Прокариоты

К наиболее примитивной группе организмов — прокариотам — относят бактерии. Отличительным признаком этих одноклеточных существ считается отсутствие ограниченного мембранной оболочкой ядра. Бактериальная хромосома (кольцевая ДНК примерно из 10^6 пар нуклеотидов — в тысячу и более раз короче ДНК эукариот) прикреплена к мембране с помощью специальных белков и находится в хорошо очерченной области цитоплазмы, называемой *нуклеоидом*. В состав нуклеоида входят также РНК и белки. В клетках цианобактерий обычно 8—10 нуклеоидов с копиями хромосом. Прокариотические клетки по размерам (1—10 мкм) существенно меньше эукариотических (20—30 мкм и более). В цитоплазме многих прокариот содержатся небольшие автономные самореплицирующиеся кольцевые ДНК — *плазмиды*.

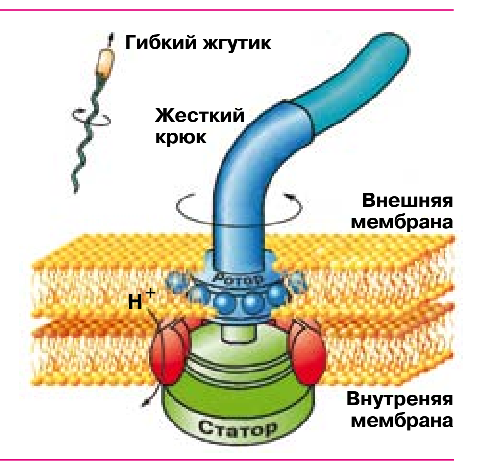
В клетках прокариот *отсутствуют все мембранные органеллы*: митохондрии, пластиды, ЭПС и аппарат Гольджи. Их мелкие рибосомы рассеяны по цитоплазме или прикреплены к наружной мембране. Поверхность прокариот покрыта настолько плотной клеточной стенкой, что фаго- и пиноцитоз для них невозможен. Они получают питательные вещества путем диффузии через оболочку или активного транспорта и не содержат вакуолей (пищеварительных, накопительных).

Бактерии имеют самую различную форму: кокки (<греч. kokkos зерно) — шаровидную, палочки и бациллы (<лат. bacillum палочка) — продолговатую, спириллы — извитую. В клетках бактерий отсутствует клеточный центр, и поэтому их жгутики сформированы особым образом. Они прикреплены к оболочке белковым комплексом, способным вращать жгутик, сообщая движение клетке. Жгутики бактерий не покрыты мембраной.

Схема строения клетки типичной бактерии (слева) и цианобактерии



Бактерии обладают протонным микродвигателем гениальной конструкции: в двигателе есть ротор, статор, подшипники, молекулярная смазка и карданный вал. Скорость вращения поразительна — до 1700 об/с. Всего за 10^{-3} с двигатель способен сменить направление вращения. Наличие столь совершенной органеллы движения, и притом у самых простых организмов, убеждает многих ученых в созданности нашего мира

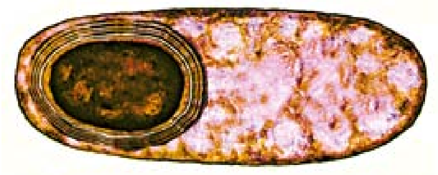


Вследствие отсутствия центриолей прокариоты не имеют цитоскелета, поэтому их цитоплазма практически неподвижна; соответственно нет необходимости и в ядерной оболочке.

Прокариоты размножаются делением. Дочерние клетки бактерий могут оставаться связанными в характерные группы. Стрептококки образуют длинные цепочки из нескольких клеток; стафилококки формируют скопление клеток, похожее на грозди винограда. Многие из них патогенны для человека. Наличие подобных образований облегчает выявление бактериальной инфекции.

При недостатке пищи или избытке ядовитых продуктов обмена в клетке некоторые бактерии способны образовывать споры (например, бациллы, к которым относятся возбудители сибирской язвы, ботулизма, столбняка). Меньшая часть цитоплазмы с хромосомой отделяется двойной мембраной, а затем покрывается многослойной оболочкой. Жизнедеятельность бактерии практически прекращается. Споры выдерживают сильные колебания температур, интенсивные химические и радиационные воздействия и сохраняются сотни лет. Попадая в благоприятную среду водоемов, они переходят к активной жизнедеятельности.

Разнообразие биохимических процессов у прокариотов велико: необходимую для жизни энергию различные бактерии получают или окисляя неорганические соединения, или используя для питания готовые органические вещества, или посредством фотосинтеза. Некоторые бактерии являются паразитами животных или растений.



Бактериальная клетка со спорой

Жизнеспособность бактерий поразительна. Есть виды, которые населяют океанические впадины и вершины гор, обитают в арктическом холоде и в кипятке горячих источников, и даже в ядерных реакторах.

Несмотря на установившееся мнение об эволюционном происхождении эукариотических организмов от прокариотических, в строении их рРНК обнаружены весьма значительные различия, и современным биохимикам эволюция от прокариотической клетки к эукариотической представляется невероятной.



1. Сравните строение клеток прокариот и эукариот.
2. Как устроен протонный микродвигатель бактерий?
3. Расскажите о спорах бактерий.
4. Удалось ли ученым объяснить происхождение эукариот от прокариот?

§ 13. Неклеточные формы жизни — вирусы

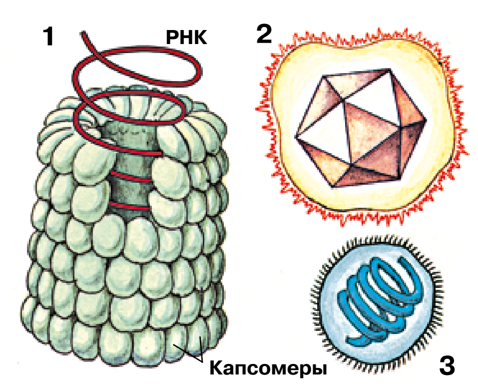
В 1892 г. русский микробиолог и ботаник Д. И. Ивановский описал необычные свойства возбудителя одной из болезней листьев растений — табачной мозаики (у растений разрушаются лейкопласты и обесцвечиваются участки листьев). Возбудитель этой болезни проникал сквозь фильтр, задерживающий бактерии.

Похожее открытие сделали французские ученые Ф. Леффлер и П. Фрош, изучая возбудителя болезни животных ящура. Нидерландский ботаник М. Бейеринк предложил называть эти фильтрующиеся возбудители *вирусами* (<лат. virus яд). Отечественный микробиолог и эпидемиолог Н. Ф. Гамалея обнаружил вирус, разрушающий бактерии. Канадский бактериолог Ф. де Эррель назвал такие вирусы *бактериофагами*.

Как теперь известно, вирусную природу имеют возбудители многих болезней, поражающих человека: оспы, гепатита, свинки, кори, бешенства, клещевого энцефалита, краснухи, полиомиелита, герпеса, гриппа.

Размеры вирусов составляют всего 15—100 нм, поэтому рассмотреть их можно только с помощью электронного микроскопа. Вирусы являются неклеточными формами жизни. В них *отсутствуют практически все характерные для живой клетки органеллы*. Вирусные частицы (*вирионы*) состоят из молекулы РНК или ДНК и оболочки (*капсида*). Капсид вирусов образован *капсомерами* — белковыми субъединицами (у вируса табачной мозаики их свыше 1000) или липопротеиновой мембраной. Вирусы не питаются и вне клеток не размножаются, многие имеют вид кристаллов. В клетках «хозяев» вирусы активи-

Вирусы:
1 — табачной мозаики,
2 — герпеса, 3 — гриппа

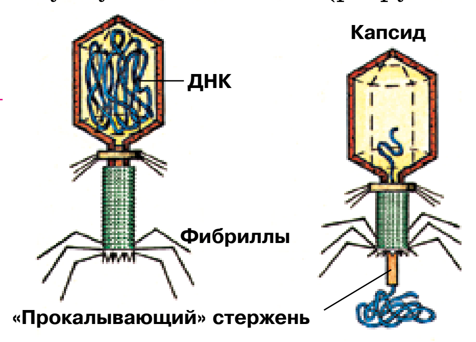


руются и проявляют такие свойства живых систем, как воспроизведение, регуляция и самосохранение.

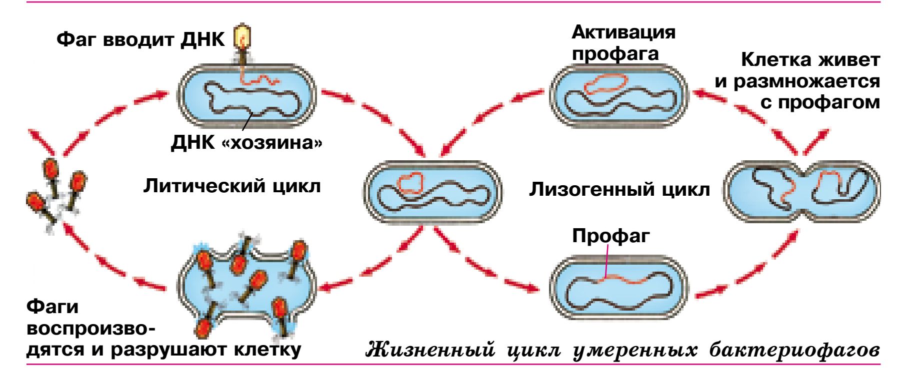
РНК-вирусы любопытны тем, что в них роль генетического материала выполняет не ДНК, а РНК. Количество генов в наследственном материале вирусов невелико: от 3 у вируса табачной мозаики до 240 у вируса оспы (в ДНК человека более 30 тыс. генов). Бактериофаги, как правило, содержат ДНК, а в клетках растений и животных чаще паразитируют РНК-вирусы (например, вирус гепатита В, однако вирус гепатита А содержит ДНК).

Паразитизм вирусов носит особый, генетический характер. В отличие от клеточных организмов вирусы не имеют собственной белоксинтезирующего аппарата (рибосом, тРНК). ДНК вируса, проникая в клетку, начинает управлять клеточными процессами, заставляя клетку синтезировать строительные материалы для вируса.

Сначала вирус присоединяется к поверхности клетки, затем погружается в цитоплазму и там освобождается от оболочек. Бактериофаги не в состоянии проникнуть сквозь прочные стенки бактерий. Они впрыскивают свою ДНК в клетку бактерии, «раздеваясь» уже на стадии проникновения. В зависимости от дальнейшего поведения различают вирулентные и умеренные бактериофаги. Вирулентные бактериофаги (например, Т4 — фаг кишечной палочки) размножаются, только разрушая (лизируя) клетку бактерии. Пораженные клетки вместо собственных ДНК и белков синтезируют ДНК и белки вируса. Накопившиеся вирусы покидают клетку путем ее лизиса (разрушения). Умеренные бактериофаги (например, фаг λ) помимо



Бактериофаг (Т4) вводит ДНК в бактерию: фаг прикрепляется к поверхности клетки нитями-фибриллами, далее специальные белки сокращают чехол, обнажая стержень, прокалывающий клеточную стенку с помощью особых ферментов



Жизненный цикл умеренных бактериофагов

литического пути развития способны к так называемой лизогении. Их ДНК встраивается в хромосому бактерии и реплицируется вместе с ней.

Вирусы растений попадают в клетки через повреждения клеточных стенок. Накопившиеся вирусы покидают клетку путем лизиса или выходят постепенно через аппарат Гольджи.

Онкогенный вирус саркомы Рауса содержит фермент *обратную транскриптазу*, синтезирующую ДНК на матрице своей РНК. Встраиваясь в хромосомную ДНК, провирус реплицируется и передается по наследству. Канцерогены (облучение, полициклические ароматические углеводороды, табачный дым, нефтепродукты, бензол) способны активировать провирус, что может привести к злокачественной трансформации клеток. Явление обратной транскрипции (обычная транскрипция происходит от ДНК на РНК, см. с. 67) открыто в 1970 г. американскими учеными Г. Теминым и Д. Балтимором. РНК-вирусы, для развития которых необходима обратная транскрипция, называют *ретровирусами* (<лат. retro обратно).

Вирусы распознают «хозяев» по специфическим для каждой клетки белкам на поверхности мембраны — ***вирусная инфекция имеет видовую и тканевую специфичность***. Вирусы гепатита паразитируют только в клетках печени, гриппа — в клетках эпителия слизистой оболочки дыхательных путей, свинки — в клетках слюнных желез. Некоторые люди обладают пониженной чувствительностью к ретровирусу СПИД. Т-лимфоциты их иммунной системы имеют наследственно измененные белковые рецепторы и не поражаются (рис. с. 142).



1. Кем и когда были впервые исследованы вирусы? Какое их свойство особенно удивило ученых?
2. Почему вирусы относят к неклеточным формам жизни?
3. Чем различаются ДНК- и РНК-вирусы?
4. Опишите жизненный цикл бактериофагов.
5. Каковы особенности жизненного цикла ретровирусов?

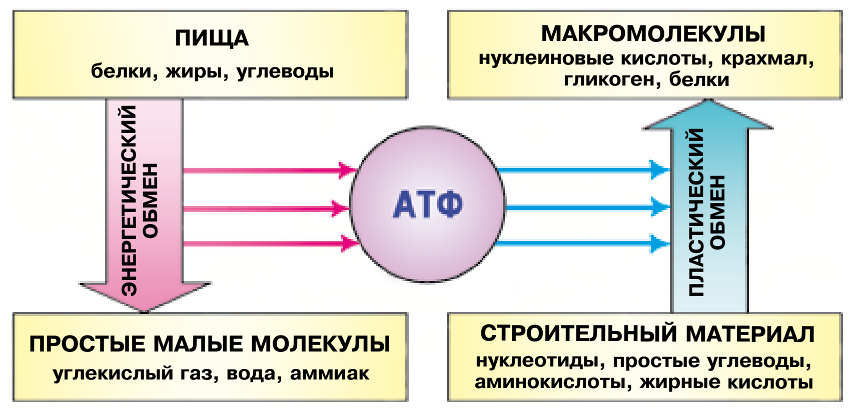
Глава 3. МЕТАБОЛИЗМ — ОСНОВА ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ КЛЕТКИ

Под метаболизмом (<греч. metabole превращение) *понимают постоянно происходящий в клетках живых организмов при участии ферментов обмен веществ и энергии*. Одни соединения, выполнив свою функцию, становятся ненужными, в других — возникает потребность. Идет биосинтез аминокислот, азотистых оснований, витаминов; из простых веществ синтезируются высокомолекулярные соединения, в свою очередь сложные молекулы расщепляются на более простые — совокупность этих процессов и называют обменом.

Реакции биосинтеза называют анаболическими (<греч. anabole подъем), а их совокупность в клетке — *анаболизмом*, или *пластическим обменом* (<греч. plastos созданный). В клетке протекает огромное количество процессов синтеза: белков на рибосомах, фосфолипидов в ЭПС, углеводов в аппарате Гольджи эукариот, цитоплазме прокариот и в пластидах растений. Белки непосредственно записаны в ДНК, другие соединения синтезируются записанными в ДНК ферментами. Таким образом, набор синтезируемых клеткой соединений определяется набором генов организма.

Совокупность реакций расщепления сложных молекул на более простые носит название *катаболизма* (<греч. katabole разрушение). Реакции катаболизма, сопровождающиеся выделением энергии, составляют *энергетический обмен* клетки. Примерами таких реакций является расщепление липидов, полисахаридов, белков в лизосомах, а также простых углеводов и жирных кислот в митохондриях. Существенная часть выделяющейся энергии запасается в высокоэнергетичных химических связях АТФ. Использование АТФ позволяет организму быстро и эффективно обеспечивать различные процессы жизнедеятельности. Некоторые реакции катаболизма не связаны с выделением и запасанием энергии. Например, выведение токсичных соединений из печени сопровождается затратами энергии на их расщепление.

Запасание и высвобождение энергии химических связей подобно закатыванию шарика на гору и его скатыванию (А, В — свободные молекулы, АВ — химическое соединение). Поднимаемся в гору — создаем связь и запасаем $E_{связи}$ (энергию связи), спускаемся — разрушаем связь и высвобождаем $E_{связи}$



Метаболизм

Молекулы белков функционируют от нескольких часов до нескольких месяцев (коллаген — до года). За этот период в них накапливаются нарушения, и белки становятся непригодными для выполнения своих функций. Они расщепляются и заменяются на вновь синтезируемые. Требуют постоянного обновления и сами клеточные структуры.

Пластический и энергетический обмены неразрывно связаны. Процессы расщепления обеспечивают энергией процессы синтеза, а также поставляют необходимые для синтеза строительные вещества. Обмен веществ поддерживает постоянство химического состава биологических систем, их внутренней среды. Способность организмов сохранять внутренние параметры неизменными носит название *гомеостаза* (<греч. homoios одинаковый + stasis неподвижность). Процессы метаболизма происходят в соответствии с генетической программой клетки, реализуя ее наследственную информацию, записанную в ДНК.

§ 14. Энергетический обмен в клетке. Синтез АТФ

Человек и животные получают энергию за счет окисления органических соединений, поступающих с пищей. Биологическое окисление веществ аналогично медленному горению. Конечные продукты сгорания дров (целлюлозы) — углекислый газ и вода. Полное окисление органических веществ (углеводов и липидов) в клетках также происходит до воды и углекислого газа. В отличие от горения процесс биологического окисления происходит медленно. Высвобождающаяся энергия постепенно запасается в виде химических связей синтезируемых соединений. Значительная ее часть рассеивается в клетках, поддерживая необходимую для жизнедеятельности температуру.

Синтез АТФ происходит в основном за счет энергии, выделяющейся при расщеплении глюкозы. Процесс полного расщепления глюкозы имеет два этапа. Первый этап неполного окисления без участия кислорода происходит в цитоплазме и носит название *гликолиза* (<греч. glykys сладкий + lysis расщепление). Второй этап осуществляется в митохондриях при участии кислорода и называется *окислительным фосфорилированием*.

Гликолиз представляет собой сложный многоступенчатый процесс из десяти последовательных реакций. Каждая реакция катализируется специальным ферментом. В итоге глюкоза расщепляется до пировиноградной кислоты (ПВК):

$$C_6H_{12}O_6(\text{глюкоза}) + 2H_3PO_4 + 2\text{АДФ} + 2\text{НАД} \rightarrow$$

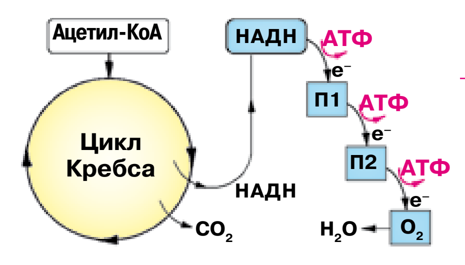
$$\rightarrow 2C_3H_4O_3(\text{ПВК}) + \textbf{2АТФ} + 2H_2O + \textbf{2НАДН}$$

Глюкоза не только расщепляется, но и окисляется (теряет электроны); акцептором электронов служит кофермент НАД (никотинамидадениндинуклеотид, читается: «над»), который восстанавливается до богатых энергией молекул НАДН («над-аш»).

У молочнокислых бактерий и грибов гликолиз заканчивается восстановлением ПВК до молочной кислоты $C_3H_6O_3$, его используют для приготовления кислого молока, простокваши, кефира, а также при силосовании кормов в животноводстве. Процесс превращения органических веществ в устойчивые конечные продукты без участия кислорода называют *брожением*. Дрожжи превращают ПВК в этиловый спирт и углекислый газ, спиртовое брожение используют для приготовления кваса, пива и вина. Брожение у других микроорганизмов завершается образованием ацетона, уксусной кислоты и других соединений.

Главными результатами гликолиза являются: образование двух молекул АТФ на одну молекулу глюкозы и восстановление НАД до НАДН. Высвобождается 200 кДж/моль энергии. Макроэргические связи АТФ запасают около 40 % этой величины, остальные 60% рассеиваются в виде тепла. Основной выход энергии и молекул АТФ происходит в процессе дальнейшего окисления ПВК, называемого *окислительным фосфорилированием* или *клеточным дыханием* (отличным от легочного дыхания с поглощением O_2 и выделением CO_2, хотя это звенья одного процесса).

Окислительное фосфорилирование. При наличии достаточного количества кислорода дальнейшее расщепление еще богатых энергией химических связей молекул ПВК до совсем простых, бедных энергией соединений CO_2 и H_2O происходит уже не в цитоплазме, а в митохондриях, и включает цепь последовательных ферментативных реакций, которые обслуживает гигантский комплекс из 60 белков и молекул-переносчиков.

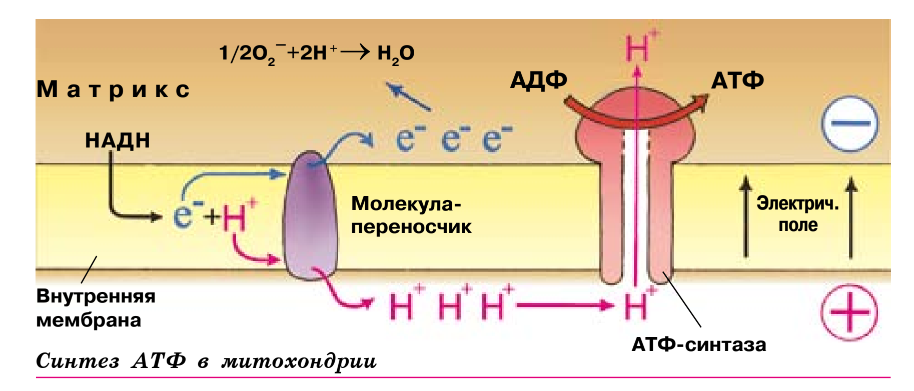


Цикл Кребса и цепь переноса электронов (П1, П2, П3...)

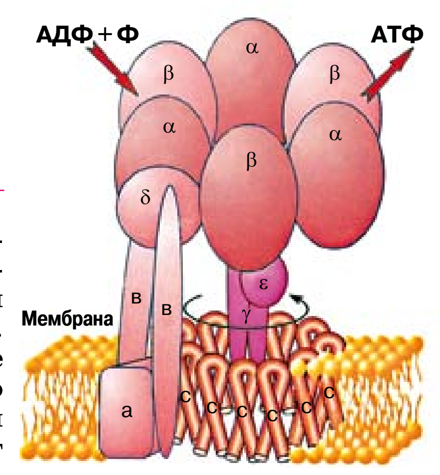
Молекулы ПВК окисляются до ацетил-КоА (остаток уксусной кислоты в соединении со специальным коферментом), который поступает в *цикл Кребса* (*цикл трикарбоновых кислот*). В цикле Кребса молекула ацетил-КоА при участии органических кислот постепенно окисляется (с выделением CO_2), а высвобождающаяся энергия идет на восстановление НАД до НАДН. На каждую молекулу ПВК приходится один замкнутый цикл реакций: после каждого цикла Кребса, состоящего из 8 реакций, все ферменты и молекулы-переносчики возвращаются в исходное состояние.

Образовавшиеся в цикле Кребса молекулы НАДН поступают в цепь переноса электронов, высокоэнергетичные электроны НАДН подхватываются молекулами-переносчиками (П1, П2... в составе внутренней мембраны) и перемещаются по цепи ферментов от одного к другому. На каждом шаге электроны вступают в окислительно-восстановительные реакции и, подобно шарику, прыгающему по ступенькам вниз, отдают энергию, часть ее идет на перемещение протонов на внешнюю сторону внутренней мембраны митохондрии (в результате НАДН окисляется до НАД). Переносчик-акцептор электронов на следующем шаге становится донором-акцептором, передавая электрон более сильному акцептору. Самым сильным акцептором является O_2, принимающий электрон на последнем шаге и переходящий в O_2^- (в этом главная роль кислорода в процессах биологического окисления).

Протоны и перемещенные электроны (супероксиданионы O_2^-) оказываются на разных сторонах внутренней мембраны. На мембране создается разность потенциалов. Фермент, синтезирую-



Синтез АТФ в митохондрии



АТФ-синтаза (размер 10 нм), греческими буквами указаны субъединицы. Фосфорилирование осуществляется благодаря вращению субъединиц γ и ε протонами со скоростью 700 об/с

щий АТФ (АТФ-синтаза), встроен в мембрану по всей ее толщине. Молекула АТФ-синтазы имеет канал в своей структуре. При накоплении на мембране разности потенциалов примерно в 200 мВ протоны под действием электрического поля начинают продвигаться через канал в молекуле АТФ-синтазы. Энергия интенсивного продвижения протонов через фермент идет на фосфорилирование АДФ в АТФ. Соединяясь с O_2^-, протоны образуют H_2O.

Фосфорилирование АДФ в АТФ происходит при окислении ацетил-КоА с потреблением кислорода, поэтому носит название *окислительного фосфорилирования*. Этот процесс открыл в 1931 г. выдающийся отечественный биохимик В. А. Энгельгардт.

В реакциях окислительного фосфорилирования освобождается большое количество энергии — 2600 кДж/моль. Около 55 % энергии запасается в макроэргических связях образующихся молекул АТФ. Остальные 45 % рассеиваются в виде тепла (поэтому при выполнении физической работы нам жарко). Итоговое уравнение окислительного фосфорилирования:

$$2C_3H_4O_3(\text{ПВК}) + 5O_2 + 36H_3PO_4 + 36\text{АДФ} \rightarrow$$
$$\rightarrow 6CO_2 + 40H_2O + \mathbf{36\text{АТФ}}$$

Таким образом, *окислительное фосфорилирование резко увеличивает эффективность энергетического обмена и играет основную роль в получении АТФ*. Если гликолиз дает только 2 молекулы АТФ, то фосфорилирование обеспечивает синтез 36 молекул АТФ. В итоге в полном цикле расщепления на каждую молекулу глюкозы образуется 38 молекул АТФ, перемещаемых в цитоплазму клетки для энергетического обеспечения всех процессов жизнедеятельности.

При среднесуточных энергетических затратах 10 тыс. кДж в организме человека ежедневно фосфорилируется около 170 кг АТФ из АДФ, а содержится всего около 50 г АТФ — следовательно, возобновление АТФ происходит с частотой 3400 раз в сутки!

Для синтеза АТФ митохондрии используют не только глюкозу, но и другие сахара, жиры и некоторые аминокислоты. *Цикл Кребса вместе с цепью переноса электронов служат своего рода энергетическим «котлом», в котором «сгорают» (окисляются до* CO_2 *и* H_2O*) различные молекулы пищевых веществ. В цикле Кребса они передают свою энергию НАДН, а в цепи переноса электронов энергия НАДН расходуется на синтез АТФ из АДФ.*

Окисление жирных кислот дает большой энергетический выход — до 100 и более молекул АТФ на молекулу жирной кислоты в зависимости от ее размера. Не случайно медведи и другие животные, впадая в спячку, запасают именно жиры. Любопытно, что часть жира имеет у них бурый цвет. Клетки бурого жира содержат множество митохондрий необычного строения: их внутренние мембраны содержат белок термогенин, обеспечивающий свободное прохождение протонов. Протоны свободно проходят через эти поры, и синтез АТФ не происходит. Высвобождающаяся энергия выделяется в виде большого количества тепла, согревающего животных во время долгой зимней спячки. Бурый жир составляет не более 2 % массы тела, но повышает производство тепла до 400 Вт/кг тела (теплопроизводство человека в состоянии покоя — 1 Вт/кг).

При дефиците в клетке сахаров и жирных кислот окислению могут подвергаться и некоторые аминокислоты, но они — дорогое топливо. Аминокислоты являются важным строительным материалом, из них организм синтезирует свои белки. К тому же при окислении аминокислот необходимо удалять аминогруппу NH_2 с образованием токсичного аммиака и потерей дефицитного азота. Белки и составляющие их аминокислоты — последний энергетический резерв организма, который используется лишь когда все другие источники энергии исчерпаны.

При интенсивной физической работе клетки не успевают получать кислород в достаточном количестве, и расщепление глюкозы ограничивается гликолизом. В результате восстановления ПВК в клетках быстро накапливается молочная кислота, избыток которой вызывает закисление и неблагоприятен для нервных и мышечных клеток (вспомним мышечные боли после тяжелой работы). Накопление молочной кислоты возбуждает дыхательный центр и заставляет нас усиленно дышать. Насыщение клеток кислородом позволяет организму возобновить процесс окислительного фосфорилирования, обеспечивающий необходимое количество энергии в виде молекул АТФ. Наступает «второе дыхание», которое является результатом работы сложного комплекса адаптации организма к нагрузке.



1. Как связаны катаболизм, анаболизм и гомеостаз?
2. Что называют брожением? Приведите примеры.
3. Опишите окислительное фосфорилирование. В чем его главный результат? Почему во время физической работы нам жарко?
5. Каковы функции бурого жира?

§ 15. Фотосинтез

Автотрофные организмы. В отличие от человека и животных все зеленые растения и часть бактерий способны синтезировать органические соединения из неорганических. Такой тип обмена веществ называется *автотрофным* (<греч. autos сам + trophe пища). В зависимости от вида энергии, используемой автотрофами для синтеза, их делят на две группы. *Фотоавтотрофы* используют энергию солнечного света, а *хемоавтотрофы* — химическую энергию, высвобождающуюся при окислении ими различных неорганических соединений.

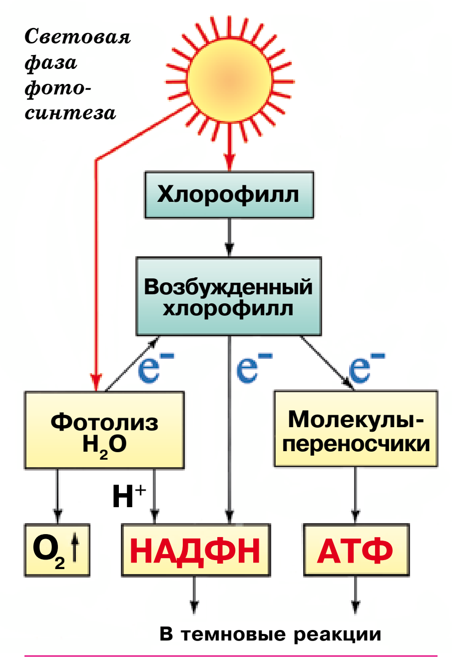
Зеленые растения являются *фотоавтотрофами*. Их хлоропласты содержат хлорофилл, позволяющий осуществлять *фотосинтез* (<греч. photos свет + synthesis соединение) — преобразование энергии солнечного света в энергию химических связей синтезируемых органических соединений. Молекулы хлорофилла поглощают красную и синюю часть спектра солнечного излучения, а зеленая составляющая достигает сетчатки наших глаз. Поэтому большинство растений мы видим зелеными.

Для осуществления фотосинтеза растения поглощают из атмосферы CO_2, а из водоемов и почвы — H_2O. Итоговое уравнение фотосинтеза выглядит довольно просто:

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow{\text{энергия света}} C_6H_{12}O_6(\text{глюкоза}) + 6O_2,$$

но всем хорошо известно, что при смешивании углекислого газа и воды глюкоза не образуется. Фотосинтез — сложный многоступенчатый процесс, для прохождения которого необходимы солнечный свет, хлорофилл, ряд ферментов, энергия АТФ и молекулы-переносчики. Выделяют две фазы фотосинтеза — *световую* и *темновую*.

С в е т о в а я ф а з а. Фотоны, поступающие от солнца передают свою энергию молекуле хлорофилла и переводят молекулу в возбужденное состояние: ее электроны, получая дополнительную энергию, переходят на более высокие орбиты. Отрыв таких электронов происходит значительно легче. Молекулы-переносчики захватывают их и по цепи реакций перемещают на другую сторону мембраны тилакоида.



Потери электронов восполняются хлорофиллом в результате *фотолиза* — расщепления воды под действием света на протоны и молекулярный кислород O_2 (катализирует этот сложный процесс специальный марганецсодержащий ферментный комплекс):

$$2H_2O \rightarrow 4H^+ + 4e + O_2$$

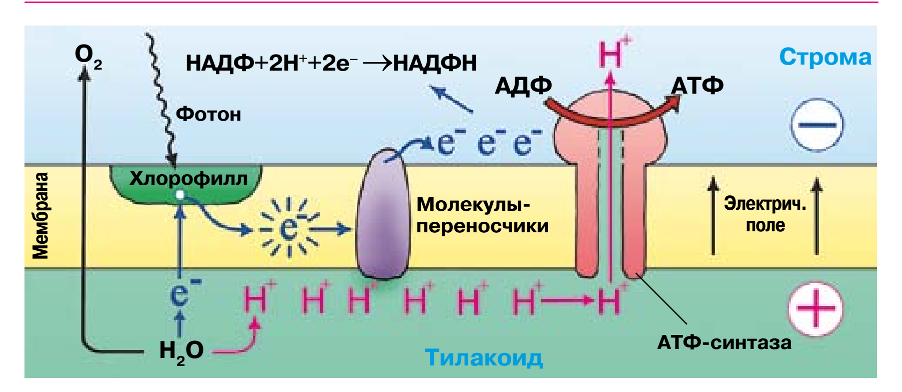
Молекулярный кислород диффундирует сквозь мембраны тилакоидов и выделяется в атмосферу. Протоны неспособны к проникновению через мембрану и поэтому остаются внутри. В результате снаружи мембраны накапливаются электроны, доставленные молекулами-переносчиками с возбужденных молекул хлорофилла, а внутри — протоны, образовавшиеся в результате фотолиза; еще часть протонов доставляется переносчиками из стромы за счет энергии возбужденных электронов. На мембране накапливается разность потенциалов.

В мембраны тилакоидов хлоропласта, так же как и во внутренние мембраны митохондрий, встроены молекулы фермента АТФ-синтазы, осуществляющие синтез АТФ. Аналогичным образом в молекулярной структуре АТФ-синтазы имеется канал, через который могут проходить протоны. При достижении на мембране критической разности потенциалов протоны, влекомые силой электрического поля, продвигаются по каналу АТФ-синтазы, затрачивая энергию на синтез АТФ.

Электроны от возбужденного хлорофилла передаются по цепи переносчиков на кофермент НАДФ (НАД с фосфатом) и восстанавливают его до НАДФН («надф-аш»), донором протонов служит вода.

Таким образом, во время световой фазы фотосинтеза происходят следующие ключевые процессы: выделение в атмосферу свободного кислорода, синтез АТФ и восстановление НАДФ до НАДФН. Протекание дальнейших реакций может происходить и в темноте (за счет запаса энергии АТФ и НАДФН), потому носит название *темновой фазы.*

Т е м н о в а я ф а з а. Реакции этой фазы происходят в строме хлоропласта за счет энергии АТФ при участии



Фотосинтез на мембранах тилакоидов хлоропластов

НАДФН, образовавшихся в световой фазе, и комплекса ферментов. Молекулы CO_2 соединяется с промежуточными молекулами с образованием глицеральдегид-3-фосфата, из которого синтезируется глюкоза (а затем и другие углеводы):

CO_2 → глицеральдегид-3-фосфат → $C_6H_{12}O_6$(глюкоза)

Для образования одной молекулы глюкозы требуется 18 АТФ (отдающих энергию и переходящих в АДФ) и 12 НАДФН (отдающих протоны и электроны, восстанавливающих CO_2 и переходящих в НАДФ). Реакции темновой фазы носят название *цикла Кальвина.* Для получения одной молекулы глюкозы необходимо 6 оборотов цикла, после каждого оборота все ферменты и молекулы-переносчики возвращаются в исходное состояние.

Кроме глюкозы из глицеральдегид-3-фосфата могут синтезироваться жирные кислоты, аминокислоты и пр. Углеводы и жирные кислоты далее транспортируются в лейкопласты, где из них формируются запасные питательные вещества — крахмал и жиры.

С наступлением темноты растения продолжают процесс фотосинтеза, используя запасенные на свету соединения. Когда этот запас исчерпывается, прекращается и фотосинтез. В темное время суток растения напоминают по типу обмена веществ животных: они поглощают кислород из атмосферы (дышат) и окисляют при его помощи запасенные днем питательные вещества. На дыхание растения используют в 20—30 раз меньше кислорода, чем выделяют в атмосферу в процессе фотосинтеза.

Ежегодно растительность планеты дает 200 млрд т кислорода и 150 млрд т органических соединений, необходимых человеку и животным. Энергия химических связей этих соединений (за счет которой и живут животные) значительно превышает количество тепла, выделяющегося при сжигании всем населением планеты горючих полезных ископаемых.

Хемосинтез. Большинство бактерий лишены хлорофилла. Некоторые из них являются *хемоавтотрофами*: для синтеза органических веществ они используют не энергию света, а энергию, высвобождающуюся при окислении неорганических соединений. Такой способ получения энергии и синтеза органических веществ назвали *хемосинтезом* (<греч. chemia химия). Явление хемосинтеза открыто в 1887 г. русским микробиологом С. Н. Виноградским.

Нитрифицирующие бактерии окисляют аммиак, образующийся при гниении органических остатков в почве или в водоемах, до азотистой кислоты и далее — азотистую до азотной.

Водородные бактерии окисляют молекулы водорода (до H_2O), образующиеся в почве в результате гликолиза органических остатков другими микроорганизмами.

Железобактерии используют энергию, высвобождающуюся при окислении двухвалентного железа до трехвалентного (закисные соли до окисных).

Серобактерии обитают, как правило, в болотах и «питаются» сероводородом. Окисляя сероводород, они получают необходимую для жизнедеятельности энергию. В результате накапливается сера, при ее окислении до серной кислоты высвобождается еще часть энергии. Огромное количество серобактерий обитает в Черном море, воды которого со стометровой глубины насыщены сероводородом.

Гетеротрофный тип обмена веществ. Человек и животные не способны синтезировать необходимые для жизнедеятельности органические вещества из неорганических и вынуждены получать их с пищей. Такие организмы называют *гетеротрофами* (<греч. heteros другой). К гетеротрофам относятся также грибы и большинство бактерий. Органические вещества разлагаются гетеротрофами на простые углеводы, аминокислоты, нуклеотиды, из которых далее синтезируются необходимые макромолекулы. Часть веществ расщепляется до конечных бедных энергией молекул (CO_2, H_2O), а высвобождающаяся энергия используется для жизнедеятельности. Некоторое количество энергии рассеивается в виде тепла, поддерживающего температуру тела.

У ряда фотосинтезирующих бактерий, одноклеточных водорослей (золотистых, динофитовых, эвглен) *миксотрофное* (<греч. mixis смешение) питание. На свету они фотосинтезируют, а в темноте переходят к питанию органическими веществами.



1. Какова функция фотосинтеза в организмах растений?
2. В чем основное предназначение световой и темновой фаз?
3. Опишите обмен веществ растений в ночное время.
4. Чем отличаются хемоавтотрофы от фотоавтотрофов?
5. Отличается ли человек от растений по типу обмена веществ, кто такие гетеротрофы?

§ 16. Генетический код. Синтез мРНК

В процессах метаболизма реализуется наследственная информация. Набор генов любого организма кодирует комплекс генных продуктов (белков, в т. ч. ферментов, РНК), достаточных для формирования клеточных структур, дифференцировки клеток в ткани, осуществления программы развития организма, процессов метаболизма и других проявлений жизнедеятельности.

Многие функции и признаки организма определяются набором его белков. Белки-ферменты расщепляют сложные органические соединения, содержащиеся в пище, на более простые, отвечают за поглощение и выделение солей, синтезируют жиры и углеводы, производят множество других биохимических превращений. Белки определяют цвет глаз, рост — словом, внешний облик организмов.

В процессе жизнедеятельности белковые молекулы постепенно разрушаются, и клетки заменяют их новыми. В организмах постоянно происходит синтез необходимых белков.

Биосинтез белков — сложный ферментативный процесс, подготавливаемый в ядре и далее протекающий на рибосомах. Центральную роль в нем играют носители генетической информации — нуклеиновые кислоты ДНК и РНК.

Генетический код. Последовательность нуклеотидов в ДНК задает последовательность аминокислот в белках — их первичную структуру. Первичная структура определяет вторичную и третичную пространственные структуры — и соответственно все свойства белка. Таким образом, гены задают структуру и функцию своих продуктов (белков). *Отрезок ДНК, несущий информацию о первичной структуре конкретного белка, называют геном.* Ген служит матрицей (<греч. matrix основа) для синтеза мРНК. Молекулы мРНК в свою очередь являются непосредственными матрицами для синтеза всех белков.

Систему записи наследственной информации в виде последовательности нуклеотидов ДНК, включая правило перевода этой последовательности в последовательность мРНК и далее в последовательность аминокислот, называют генетическим кодом. В нем использованы нуклеотиды РНК (а не ДНК), поскольку генетический код был расшифрован именно на РНК.

Идею о том, что наследственная информация записана на молекулярном уровне, а синтез белков идет по матричному принципу, впервые высказал еще в 1920-х годах русский биолог Н. К. Кольцов. В настоящее время код полностью расшифрован. В этом заслуга известных ученых: Г. Гамова (1954); Ф. Крика, С. Очоа, М. Ниренберга, Р. Холи и К. Хораны (1961—1965). Значительную часть свойств генетического кода установил английский физик Ф. Крик, изучая бактериофаг Т4.

Аминокислоты	Триплеты в мРНК
Аланин	ГЦ(любой)
Аргинин	ЦГ(любой), АГ(А,Г)
Аспарагин	АА(У,Ц)
Аспарагиновая кислота	ГА(У,Ц)
Валин	ГУ(любой)
Гистидин	ЦА(У,Ц)
Глицин	ГГ(любой)
Глутамин	ЦА(А,Г)
Глутаминовая кислота	ГА(А,Г)
Изолейцин	АУ(У,Ц,А)
Лейцин	ЦУ(любой), УУ(А,Г)
Лизин	АА(А,Г)
Метионин	АУГ
Пролин	ЦЦ(любой)
Серин	УЦ(любой), АГ(У,Ц)
Тирозин	УА(У,Ц)
Треонин	АЦ(любой)
Триптофан	УУГ
Фенилаланин	УУ(У,Ц)
Цистеин	УГ(У,Ц)
Границы рамки считывания	АУГ — начало УГА,УА(А,Г) — конец

Таблица генетического кода (в скобках указаны варианты третьего нуклеотида)

Код триплетен. Каждая аминокислота задается последовательностью трех нуклеотидов — *триплетом*, или *кодоном*.

Код вырожден. Различных нуклеотидов в мРНК четыре, следовательно, теоретически возможных кодонов — 64 (это 4^3). Большинству аминокислот соответствует от 2 до 6 кодонов. Чем чаще аминокислота встречается в белках, тем большим, как правило, числом кодонов она кодируется.

Код непрерывен. Кодон метионина АУГ (инициирующий кодон) на мРНК указывает начало матрицы для синтеза белка. Три кодона не кодируют ни одной из аминокислот, их называют бессмысленными (nonsense-кодонами), или стоп-кодонами: ими матрица белка на мРНК заканчивается. Последовательность нуклеотидов мРНК, начинающаяся с инициирующего кодона и заканчивающаяся одним из стоп-кодонов, называется кодирующей рамкой гена, или открытой рамкой считывания (ОРС). Считывание кода белка в пределах кодирующей рамки происходит *непрерывно, без знаков препинания и пропусков* — триплет за триплетом.

Код однонаправлен. Считывание кода всегда происходит в одном направлении — от 5′- к 3′-концу (см. с. 25).

Код не перекрывается. Каждый кодон начинается с нового нуклеотида без перекрывания. Ни один нуклеотид не может прочитываться дважды.

Код универсален практически для всех организмов на Земле. Одинаковые аминокислоты кодируются одними и теми же триплетами нуклеотидов у бактерий и слонов, водорослей и лягушек, черепах и лошадей, птиц и человека. Несколько отличаются (на 1—5 кодонов) только коды митохондриальной ДНК человека, млекопитающих, дрозофилы, ряда дрожжей, а также хромосомной ДНК ресничных инфузорий, гриба кандида и некоторых бактерий (микоплазм).



Участок ДНК для синтеза одной мРНК

Транскрипция (<лат. transcriptio переписывание). Синтез белка происходит в цитоплазме на рибосомах. Генетическую информацию от хромосом ядра к месту синтеза переносят мРНК:

ДНК —*транскрипция*→ мРНК —*трансляция*→ белок

Матричная РНК (мРНК) синтезируется на отрезке одной из цепей ДНК как на матрице, хранящей информацию о первичной структуре конкретного белка. В основе синтеза лежит *принцип комплементарности:* напротив Ц(днк) встает Г(рнк), напротив Г(днк) — Ц(рнк), напротив А(днк) — У(рнк), напротив Т(днк) — А(рнк). Таким образом, мРНК становится точной копией второй цепи ДНК (с учетом замены Т→У). Молекула мРНК имеет одноцепочечную структуру, она во много раз короче ДНК, поскольку считывается с ее небольшого участка.

Процесс перенесения генетической информации на синтезируемую мРНК носит название транскрипции. Перед началом гена в ДНК расположен *промотор* — особая последовательность нуклеотидов. К промотору присоединяется фермент РНК-полимераза и начинает транскрипцию. В конце гена находится последовательность нуклеотидов, называемая терминатором. Транскрипция протекает довольно быстро: сборка РНК в 10 000 нуклеотидов у эукариот занимает всего 3 минуты!

В ходе транскрипции РНК-полимераза разрывает водородные связи между азотистыми основаниями ДНК и производит синтез мРНК по принципу комплементарности, присоединяя нуклеотиды к 3′-концу (на рисунке — справа) растущей цепи. На одной ДНК может работать сразу несколько полимераз.

У эукариот готовая молекула мРНК после определенной перестройки связывается в комплекс со специальными белками и транспортируется ими через ядерную оболочку на рибосомы. В прокариотической клетке ДНК не отделена от цитоплазмы, и рибосомы начинают синтез белков уже во время транскрипции.

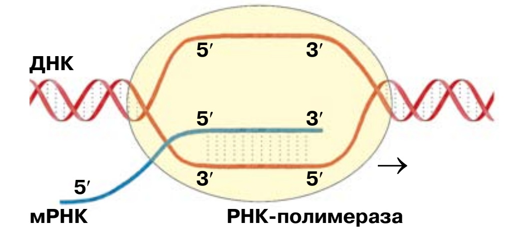


Схема транскрипции (транскрибируется нижняя нить ДНК слева направо)



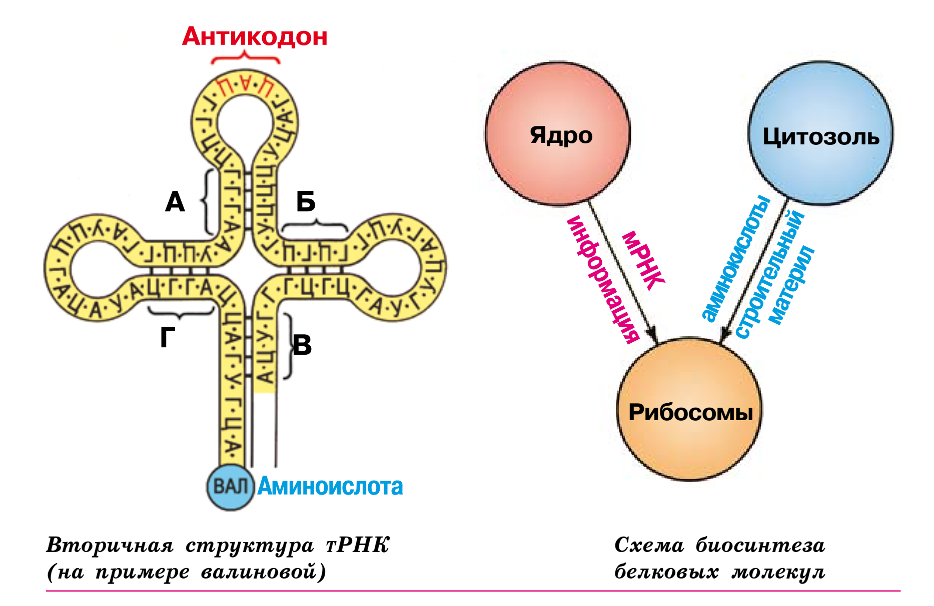
1. Какая группа органических соединений определяет основные свойства организмов? Докажите.
2. Что такое генетический код? Перечислите его свойства.
3. Как происходит транскрипция? Какой принцип лежит в ее основе? Каковы особенности транскрипции у прокариот?
4. В чем состоит функция мРНК?

§ 17. Синтез белковой цепи на рибосоме

Матричные процессы составляют основу способности живых организмов к воспроизведению. В клеточном ядре происходит удвоение ДНК. Новая молекула воспроизводится на матрице старой и представляет собой ее точную копию. Матричная РНК синтезируется на матрице ДНК в виде точной копии одного из участков ДНК (с учетом замены Т → У). Далее на матрице мРНК происходит синтез белков.

Транспортные РНК. Необходимые для синтеза белков аминокислоты всегда имеются в цитозоле. Они синтезируются или же образуются в процессе расщепления белков в лизосомах. Транспортные РНК присоединяют аминокислоты, доставляют их к рибосоме и осуществляют точную пространственную ориентацию аминокислот на рибосоме (см. рис. на с. 41).

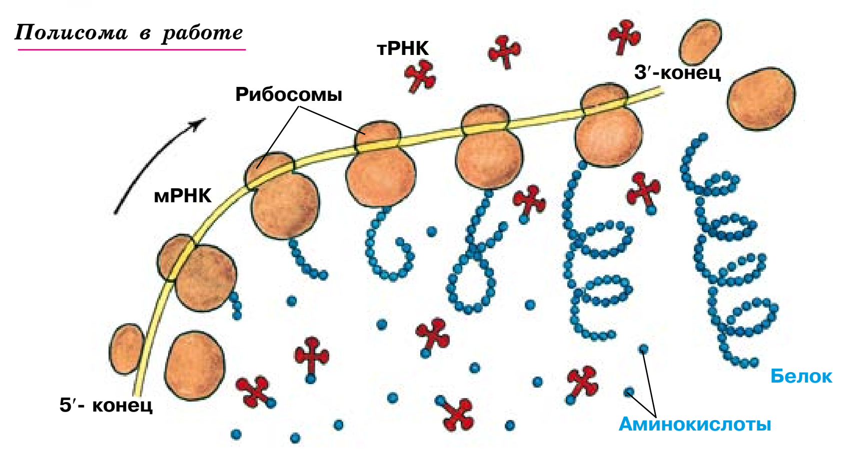
Рассмотрим устройство тРНК, позволяющее ей выполнять свои сложные функции. В цепочке тРНК, состоящей из 70—90



Вторичная структура тРНК (на примере валиновой)

Схема биосинтеза белковых молекул

Полисома в работе

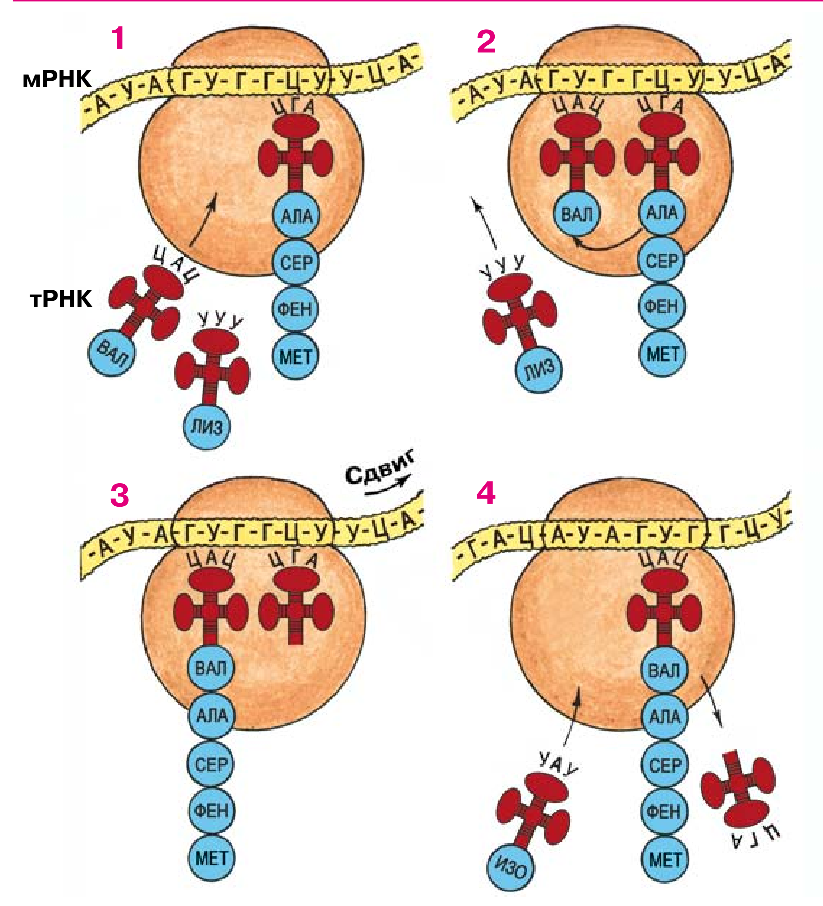


звеньев, имеется 4 пары комплементарных отрезков из 4—7 нуклеотидов — А, Б, В и Г. Комплементарные участки связываются водородными связями попарно (как в молекуле ДНК). В результате цепь тРНК «слипается» в четырех местах с образованием петлистой вторичной структуры, напоминающей лист клевера. В верхушке «листа» располагается триплет (на рис. ЦАЦ), комплементарный тому кодону мРНК, который соответствует транспортируемой аминокислоте (на рис. валин). Если в мРНК код аминокислоты валина ГУГ, то на вершине валиновой тРНК будет триплет ЦАЦ. Комплементарный триплет в тРНК называют *антикодоном*.

Специальный фермент распознает антикодон тРНК, присоединяет к «черенку листа» определенную аминокислоту (в нашем примере — валин), и затем тРНК перемещает ее к рибосоме. Каждая тРНК транспортирует только свою аминокислоту.

Трансляция (<лат. translatio передача). *Перевод последовательности нуклеотидов мРНК в последовательность аминокислот синтезируемых белков называют трансляцией.* Синтез начинается с того, что малая субъединица рибосомы связывается с участком мРНК вблизи 5′-конца, несущим инициирующий кодон АУГ. Далее метиониновая тРНК присоединяется к кодону АУГ. После этого малая и большая субъединицы, мРНК и инициаторная тРНК объединяются в комплекс, способный синтезировать белок. В процессе синтеза малая субъединица связывает мРНК, а большая катализирует образование пептидных связей между аминокислотами.

В области кодон-антикодоновых взаимодействий рибосомы (активном центре) размещаются два триплета мРНК и соответственно две тРНК. Рибосома перемещается по мРНК не плавно, а прерывисто, триплет за триплетом. На каждом шаге присоединяется новая аминокислота. Транспортные РНК пере-



Трансляция на этапе присоединения аминокислоты валин

мещаются со своей аминокислотой к рибосоме и «примеряют» свой антикодон к очередному кодону мРНК, находящемуся в активном центре. Между комплементарными нуклеотидами возникают водородные связи. Если антикодон оказывается не комплементарным, то тРНК удаляется в цитоплазму к другим рибосомам. Если же он оказывается комплементарным, то тРНК присоединяется к кодону водородными связями.

Далее синтезируемая белковая цепь присоединяется к прибывшей аминокислоте. Новая тРНК продолжает удерживать всю формирующуюся белковую цепь на кодоне мРНК до прихода следующей тРНК. Освободившаяся тРНК перемещается в цитоплазму на поиск своей аминокислоты. Рибосома перемещается на следующий триплет мРНК, и процесс повторяется. Интервал между перемещениями составляет не более 0,2 секунды, а весь синтез белка средней длины продолжается 1—2 минуты.

На одной цепи мРНК могут работать несколько рибосом. На мРНК, содержащей информацию о белке гемоглобине, размещается до 5 рибосом, на некоторых других мРНК — до 20 рибосом. Когда в области кодон-антикодоновых взаимодействий оказывается один из трех стоп-кодонов УГА, УАА или УАГ, синтез белка завершается. Белковая цепь отделяется от тРНК, а сама рибосома распадается на субъединицы. Рибосомы универсальны и могут синтезировать белки по любой матрице мРНК. Субъединицы рибосом соединяются только на время синтеза белка.

Синтез белков требует затрат большого количества энергии. Только на присоединение каждой аминокислоты к тРНК расходуется энергия одной молекулы АТФ, а в белке средней длины содержится 400—500 аминокислот. Общее количество затрачиваемой энергии существенно превышает суммарную химическую энергию образующихся пептидных связей между аминокислотами. По этой причине белки редко используются клеткой в качестве топлива: слишком велики затраты на их изготовление.

Регуляция транскрипции и трансляции. Клетки различных тканей сильно различаются между собой по строению и функциям, но все они произошли от единственной зиготы (оплодотворенной яйцеклетки) в результате многократного деления. Перед каждым актом деления ДНК реплицируется в две точные копии. Ученым удалось экспериментально доказать, что дифференцированные клетки организма имеют, как правило, одинаковый набор ДНК.

В 1945 г. Г. В. Лопашев разработал метод пересадки ядер в яйцеклетку. В 1958 г. Ф. Стюарт впервые вырастил из единственной клетки взрослой моркови целое растение, а в 1968 г. Дж. Гордону удалось пересадить ядра из клеток кишечника головастика в яйцеклетки лягушки, лишенные собственных ядер, и вырастить из них нормальных лягушек (клонов). Следовательно, *клетки всех тканей организма имеют один и тот же набор генов, одну и ту же информацию о строении белков*.

Однако клетки каждой ткани производят свои белки, свои ферменты. Белковый гормон роста синтезируется только в клетках гипофиза, зрительный белок опсин — в клетках сетчатки глаза, а инсулин — в клетках поджелудочной железы.

Такое разнообразие существует потому, что клетки каждой ткани реализуют только свою часть информации ДНК. В клетках разных тканей происходит транскрипция разных генов, синтезируются разные мРНК, по которым воспроизводятся разные белки. Набор активно работающих генов зависит не только от тканевой принадлежности клетки, но и от периода ее жизненного цикла. Так, за интенсивное деление и рост клеток в период развития эмбриона отвечают определенные гены, в большинстве клеток взрослых существ эти гены молчат (их включение

может привести к появлению опухолей). В эукариотической клетке многоклеточного организма функционирует около 5 % имеющихся у нее генов, остальные находятся в репрессированом состоянии (не активны). Эти факты свидетельствуют о том, что активность генов регулируется.

Основным механизмом регуляции активности генов (экспрессии) служит затруднение или стимуляция присоединения РНК-полимеразы к промотору для начала транскрипции. Различают два вида регуляторных белков.

Белки-репрессоры, связываясь с *оператором* (регулирующий участок ДНК, расположенный в промоторе или между ним и геном), препятствуют присоединению полимеразы к промотору. *Белки-активаторы,* напротив, облегчают присоединение полимеразы и стимулируют таким образом транскрипцию. Деятельностью регуляторных белков управляют *вещества-эффекторы*. Связываясь с белками-регуляторами, эффекторы изменяют их биологическую активность, «включая» и «выключая» транскрипцию. Эффекторами часто служат гормоны. Самые активные промоторы у бактериофагов, поэтому они и побеждают генетический механизм клетки-хозяина, заставляя ее синтезировать преимущественно свои белки.

У прокариот гены, кодирующие синтез ферментов, участвующих в одной цепи биохимических превращений (например, осуществляющих расщепление глюкозы), зачастую собраны под одним промотором (с него начинается транскрипция). Такую группу структурных генов (определяющих структуру ферментов) вместе с промотором, оператором, последовательностями начала и конца транскрипции называют *опероном*. По мере необходимости опероны «включаются» и «выключаются». Так, кишечная палочка использует для жизнедеятельности и глюкозу и лактозу (молочный сахар), но если она находится в среде, содержащей только глюкозу, то не растрачивает энергию АТФ на синтез белков, расщепляющих лактозу. Ген-регулятор лактозного оперона синтезирует белок-репрессор, который, взаимодействуя с оператором, препятствует присоединению РНК-полимеразы к промотору и «выключает» транскрипцию генов, в которых закодированы ферменты, необходимые для усвоения лактозы. Если же бактерии переместить в среду, содержащую только лактозу, то лактоза, попадая в клетки, инактивирует белок-репрессор и начинается транскрипция оперона, отвечающего за усвоение лактозы.

Генетический аппарат эукариот устроен намного сложнее, чем у прокариот, именно вследствие большей сложности ре-

Оперон — участок ДНК у прокариот для транскрипции на одну мРНК

Промотор	Оператор	ГЕН 1	ГЕН 2	ГЕН 3	Терминатор

гуляции генетических процессов. У человека генов в 2 раза больше, чем у дрозофилы, и в 5 раз больше, чем у дрожжей. У высших животных и человека не более 5 % ДНК кодируют собственно гены (у прокариот — более 50 %). Значительно больше места в ДНК занимают разнообразные регуляторные элементы. Основную же часть генома (набора генов организма) эукариот составляет *молчащая ДНК* — многократно повторяющиеся короткие последовательности нуклеотидов, не кодирующие макромолекулы.

Матричные РНК большинства генов эукариот кроме участков, непосредственно кодирующих белки (экзонов), содержат фрагменты, подлежащие удалению (интроны). Специальные ферменты в ядре вырезают интроны и сшивают между собой экзоны. Этот процесс называют *сплайсингом* (<англ. splice сращивать канаты без узлов, морской термин). После сплайсинга и некоторых других операций мРНК называют зрелой, далее она поступает в цитоплазму к рибосомам.

Ферменты не всегда сшивают экзоны в том порядке, в каком они были считаны с ДНК. Измененный порядок сшивки экзонов называют *альтернативным сплайсингом*. Во многих случаях альтернативный сплайсинг имеет тканеспецифичный характер: в созревших мРНК разных тканей и органов порядок экзонов может несколько различаться, соответственно отличаются и транслируемые белки. У человека и высших животных около 40 % генов подвергаются альтернативному сплайсингу. Так экономно устроена ДНК: ген один, а белков получается несколько. Функции этих белков обычно очень сходны, поэтому их называют изоформами, но в ряде случаев такие белки-ферменты обеспечивают разные процессы метаболизма.

У растений и многоклеточных животных некоторые интроны содержат гены особых микроРНК (миРНК), включающие всего лишь 20—28 нуклеотидов. Эти миРНК играют важную роль в регуляции сотен генов. Нуклеотидная последовательность миРНК комплементарна участку мРНК, трансляцию которой она регулирует. Связываясь с таким участком, миРНК либо подавляет трансляцию, либо вызывает разрушение мРНК.

Подготовка кодирующего участка мРНК к трансляции у эукариот

мРНК после транскрипции

Экзон 1	Интрон 1	Экзон 2	Интрон 2	Экзон 3	Интрон 3	Экзон 4

↓ **Подготовка мРНК к трансляции: вырезание интронов и сшивка (сплайсинг) экзонов**

Экзон 1	Экзон 2	Экзон 3	Экзон 4

Зрелая мРНК (готовая к трансляции)

Варианты альтернативного сплайсинга (наиболее распространено отсутствие какого-то экзона)

↙ ↘

Экзон 1	Экзон 2	Экзон 4

Экзон 1	Экзон 3	Экзон 4

Существуют системы, регулирующие синтез веществ в организме как едином целом. В клетках желез внутренней секреции вырабатываются соответствующие гормоны, которые разносятся с кровью по всему телу. Они регулируют процессы синтеза мРНК и трансляцию именно в тех клетках, для которых они предназначены. На поверхности клеток есть рецепторы для «своих» гормонов. Связываясь с рецепторами, гормоны управляют активностью различных систем клетки, регулирующих обмен. В результате может включаться-выключаться как транскрипция конкретных генов, так и синтез белков на рибосомах.

Даже синтезированные мРНК могут долгое время не транслироваться, если нет команды от гормонов. Каждый гормон через определенные системы клеток активирует свои гены. Ускорение синтеза необходимого белка достигается более активным присоединением рибосом к мРНК — созданием полисомного комплекса (нескольких рибосом, перемещающихся друг за другом).

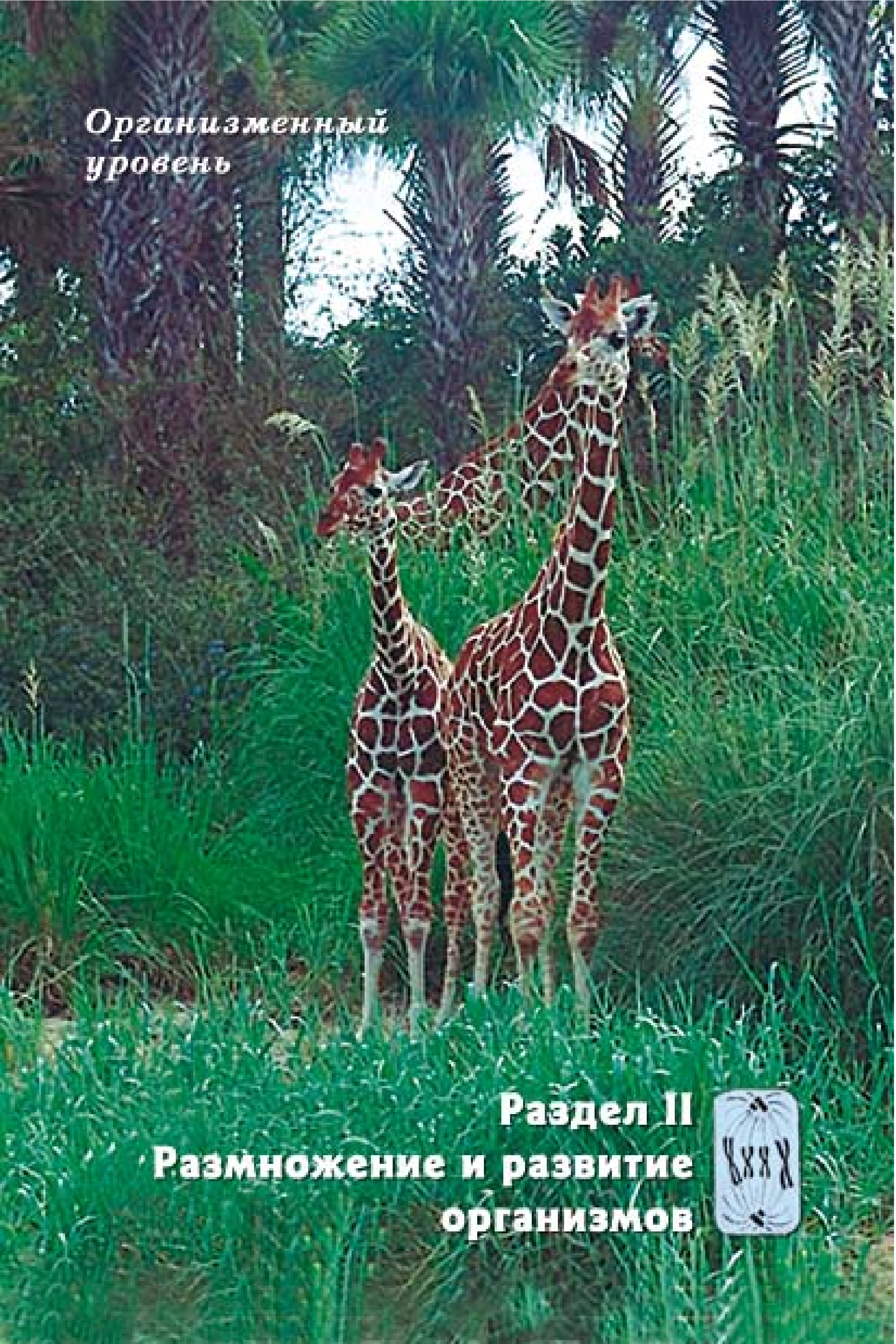
Как транскрипция, так и трансляция могут подавляться различными химическими веществами, относящимися к классу антибиотиков (<греч. anti против + bios жизнь). Например, эритромицин и стрептомицин подавляют синтез белка на рибосомах бактерий. Бледная поганка содержит вещество, подавляющее функционирование РНК-полимеразы человека. Прекращение полимеразой синтеза мРНК приводит к тяжелейшим последствиям.

Подведем итоги. В воспроизведении белков участвуют: ДНК; мРНК; тРНК для 20 аминокислот; рибосомы, состоящие из нескольких рРНК и десятков различных белков; целый комплекс ферментов. Для осуществления синтеза белковой молекулы средней длины необходим тонкий, специфический подвод энергии посредством около 1 000 молекул АТФ. Практически вся клетка участвует в синтезе, нарушение строения хотя бы одного из компонентов нарушает процесс воспроизведения белковых молекул.

Для современных ученых удивителен сам факт функционирования этой сложной системы в организме. Возможность же ее самопроизвольного появления многие исследователи абсолютно исключают. Познание внутриклеточных процессов приводит к мысли о Создателе.



1. Каково предназначение матричных процессов в клетке?
2. Опишите строение и функции тРНК.
3. Опишите последовательность трансляции белков.
4. Способна ли каждая рибосома синтезировать любые белки? Может ли каждая тРНК переносить любые аминокислоты?
5. Почему необходимо «включать» и «выключать» гены? Каковы механизмы этих процессов?


Организменный уровень
Раздел II
Размножение и развитие организмов

Глава 4. РАЗМНОЖЕНИЕ ОРГАНИЗМОВ

Наш повседневный опыт печально свидетельствует о том, что все живое подвержено смерти.* Существа болеют, старятся и наконец умирают. У многих жизнь еще более короткая: их съедают хищники. Чтобы жизнь на Земле не прекратилась, все существа наделены универсальным свойством — способностью к размножению.

При всем разнообразии живых организмов, населяющих планету, при всех различиях в строении и образе жизни, способы их размножения в природе сводятся к двум формам: бесполой и половой. Некоторые растения сочетают эти две формы, размножаясь бесполым путем (клубнями, черенками, отводками и т. д.) и одновременно половым (семенами).

В случае бесполого размножения потомство развивается из клеток исходного организма. При половом размножении развитие нового существа начинается с единственной клетки, образовавшейся от слияния двух родительских — мужской и женской.

Сущность размножения состоит в сохранении не только жизни в целом, но и каждого отдельного вида животных и растений, в организации преемственности между потомством и родительскими существами. Молекулярную основу процессов размножения всех организмов составляет способность ДНК к самоудвоению. В результате генетический материал воспроизводится, а строение и функционирование дочерних организмов оказывается таким же, что и родительских.

---

* Священное Писание и творения святых отцов пронизаны мыслью о том, что смерть и тление не были сотворены изначально, а вошли в мир вследствие грехопадения первого человека (Прем. 1,13 и 2,23, Рим. 5,12, приложения с. 344, и т. д.).

§ 18. Деление соматических клеток. Митоз

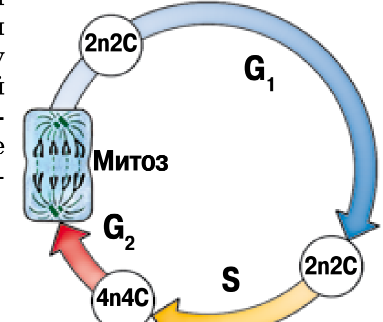
Клеточный цикл. Процесс деления и интерфаза (промежуток между делениями) тесно взаимосвязаны, их совокупность составляет *клеточный цикл*. Его продолжительность в клетках растений и животных составляет в среднем 10—20 часов. В химически активной среде пищевого тракта клетки эпителия кишечника быстро изнашиваются и поэтому делятся дважды в сутки, клетки роговицы глаза приступают к делению один раз в трое суток, а клетки эпителия кожи — раз в месяц. Нейроны и некоторые лейкоциты никогда не делятся. В печени животных находятся покоящиеся клетки, которые делятся только, например, при удалении части печени.

После разделения клетки на две дочерних в каждой из них начинается первый, самый продолжительный (от 10 часов до нескольких суток), период клеточного цикла — пресинтетический (G_1). Клетка готовится к удвоению хромосом и растет: синтезируются белки, РНК, увеличивается количество рибосом и митохондрий, поверхность ЭПС. В течение следующих 6—10 часов синтетического периода (S) происходит синтез ДНК (репликация). Третий постсинтетический период (G_2) занимает 3—6 часов, клетка готовится к делению: синтезируются белки микротрубочек, запасаются вещества. В интерфазе, состоящей из периодов G_1, S, G_2, происходят все основные процессы обмена веществ. Четвертый, последний период клеточного цикла, митоз, длится в среднем от 1 до 3 часов в зависимости от внешних условий (освещения, температуры и пр.).

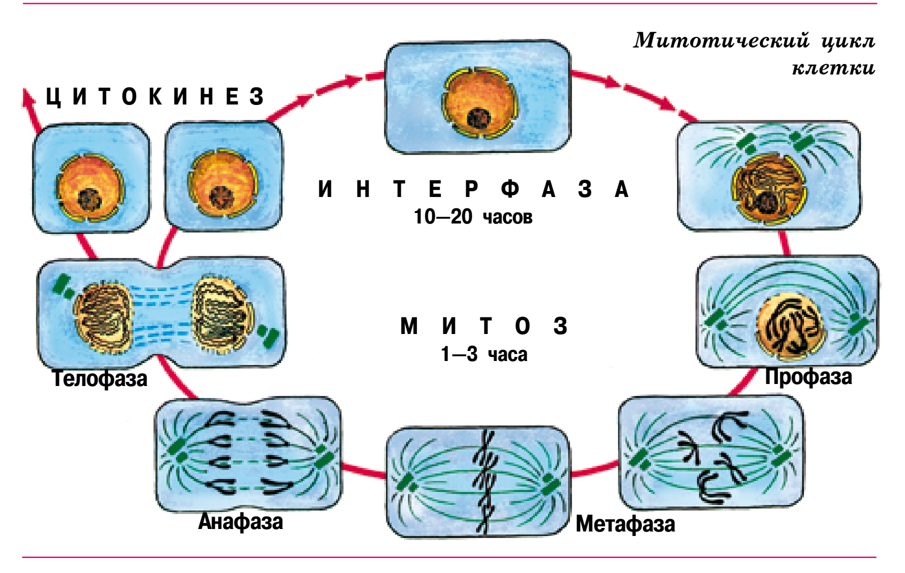
Деление клеток происходит в два этапа. Сначала разделяются хромосомы, а затем происходит *цитокинез* — разделение цитоплазмы.

Митоз. Основной способ деления эукариотических клеток называют *митозом* (<греч. mitos нить). Различают четыре фазы митоза: *профаза, метафаза, анафаза и телофаза.*

Профаза (<греч. pro перед). В профазе заканчивается приготовление к делению. Хромосомы утолщаются и становятся видимы в световой микроскоп. К концу профазы они представляют собой плотно упакованные дочерние хроматиды, образовавшиеся в процессе удвоения ДНК и соединенные центромерами.



Периоды клеточного цикла.
2n, 4n — набор хромосом,
2C, 4C — число молекул ДНК в наборе



Считывание информации с ДНК прекращается, синтез РНК заканчивается. Субъединицы рибосом выходят из ядра в цитоплазму, и ядрышки исчезают. Микротрубочки цитоскелета распадаются, из составлявших их белков на центриолях начинает формироваться веретено деления. Центриоли расходятся к противоположным полюсам клетки. Внешние микротрубочки связываются с плазмалеммой и фиксируют положение центриолей. Наконец ядерная оболочка распадается на фрагменты, и хромосомы оказываются в цитоплазме. Края фрагментов оболочки смыкаются, образуя мелкие пузырьки-вакуоли, которые сливаются с мембранами эндоплазматической сети.

Метафаза (<греч. meta между). Эта стадия деления характеризуется перегруппировкой хромосом в цитоплазме. Когда хромосом достигают микротрубочки от ближайшей центриоли, хромосомы начинают перемещаться к центру клетки по мере удлиннения микротрубочки, пока не соединятся центромерной областью с микротрубочками от другой центриоли. Контакты хромосом с микротрубочками происходят случайным образом, в микроскоп видно, как хромосомы энергично движутся туда-сюда, пока не оказываются «пойманными» микротрубочками, идущими с двух противоположных сторон. К концу метафазы все хромосомы собираются в экваториальной зоне клетки, образуя так называемую метафазную пластинку. Они максимально компактны и хорошо видны. По метафазным хромосомам определяют количество и структуру хромосом организма — его *кариотип*.

Анафаза (<греч. ana вновь). Центромерные области хроматид разъединяются, и хроматиды становятся самостоятельными.

Каждая из них оказывается присоединенной центромерой к своему полюсу деления. Далее хроматиды каждой хромосомы быстро и одновременно расходятся к противоположным полюсам.

В центромерных участках расположены моторные белки. Перемещение происходит в результате их активной работы за счет энергии АТФ. Плечи хромосом пассивно следуют за центромерой. Освобождающиеся участки микротрубочек сразу же разрушаются. С достижением хромосомами полюсов деления (центриолей) анафаза заканчивается.

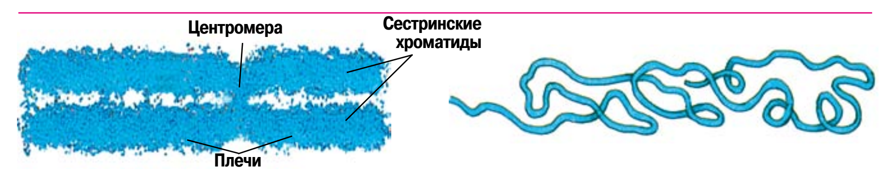
В клетках высших растений веретено деления формируется особым образом, без участия центриолей. Очевидно, что при отсутствии веретена размножение клеток не происходит. Химическое воздействие, разрушающее микротрубочки, — один из способов подавления роста опухолей.

В клетке прокариот кольцевая ДНК после удвоения разносится в разные дочерние клетки моторными белками, скользящими вдоль плазмалеммы. Такой способ деления отличен от митоза, поскольку спирализации хромосом и формирования веретена деления не происходит.

Телофаза (<греч. telos конец). На этом последнем этапе митоза путем слияния пузырьков эндоплазматической сети формируется новая ядерная оболочка. Хромосомы деспирализуются в длинные тонкие нити, на участках хромосом, несущих гены рРНК, образуются ядрышки. Веретено деления разрушается. Из составлявших его белков с центриолей начинают разрастаться микротрубочки нового цитоскелета.

Цитокинез. Окончательное разделение надвое в клетках животных осуществляется перетяжкой. В растительных клетках из середины к краям разрастается мембрана, на которой затем появляется плотная клеточная стенка. Органеллы распределяются между дочерними клетками примерно в равных количествах.

Обратим внимание на то, что все процессы митоза определяются преобразованиями хромосом. Удвоившись в интерфазе, хромосомы спирализуются и выходят в профазе в цитоплазму. В метафазе они собираются в экваториальной зоне и разъединяются, чтобы в анафазе разойтись к разным полюсам. На заключительном этапе телофазы хромосомы принимают исходный вид тонких деспирализованных нитей, характерных для интерфазы.



Метафазная удвоенная хромосома *Интерфазная хромосома*

Число хромосом. Посредством митотического деления дочерние клетки получают набор хромосом материнской клетки, так что клетки всего организма имеют одни и те же хромосомы. Клетки тканей и органов тела называют *соматическими* (<греч. soma тело). Специализированные половые клетки участвуют в воспроизведении. Соматические клетки содержат диплоидный (двойной, 2n) набор хромосом. В этом наборе каждый ген представлен в двух сходных (гомологичных) хромосомах. Набор половых клеток — гаплоидный (одинарный, 1n). Хромосомы половых клеток не имеют гомологов (<греч. homologia соответствие), каждый ген в их наборе — единственный. Число хромосом гаплоидного и диплоидного наборов, как правило, постоянно для каждого вида организмов.

Хромосомный набор соматических клеток человека включает 46 хромосом: 22 гомологичные пары и две непарные хромосомы, определяющие пол. В половых клетках человека содержится только 23 одиночных хромосомы.

Вид	Число хромосом (2n)	Вид	Число хромосом (2n)
Радиолярия (простейшее)	1600	Картофель	48
Речной рак	116	Мягкая пшеница	42
Собака	78	Вишня	32
Человек	46	Лилия	24
Дрозофила	8	Кукуруза	20
Малярийный плазмодий	2	Горох	14

Анализ хромосомных наборов показывает, что сложность и совершенство организмов не определяется количеством хромосом.

Биологическое значение митоза. Помимо увеличения объема тела многоклеточного организма митоз имеет и другое, более важное предназначение. В процессе митоза генетический материал передается от родительских клеток дочерним. *Точное расхождение дочерних хромосом и постоянное воспроизведение их набора в ряду поколений соматических клеток составляет основное биологическое значение митоза.*

Воспроизведение хромосомного набора при митозе обеспечивает идентичность наследственного материала у всех клеток многоклеточного организма. Это особенно важно, ведь они функционируют в тесном взаимодействии.

Митотическое деление обеспечивает важнейшие процессы жизнедеятельности: эмбриональное развитие и рост, регенерацию органов и тканей после повреждения, воспроизведение утраченных организмом рабочих клеток. Клетки кожи сшелушиваются, клетки эпителия кишечника разрушаются посредством апоптоза (см. с. 81) через 2 суток (70 млрд в сутки), эритроциты интенсивно функционируют и быстро погибают, полностью заменяясь в организме каждые четыре месяца (2 млрд клеток в сутки).

У одноклеточных организмов митоз служит механизмом бесполого размножения.

Амитоз (<греч. а отриц. частица) — прямое деление интерфазного ядра перетяжкой без спирализации хромосом и образования веретена деления. Дочерние клетки обладают случайными частями генетического материала и уже не могут вступить в митотический цикл. Амитоз встречается в отмирающих клетках кожного эпителия, в клетках зародышевых оболочек млекопитающих (подлежащих разрушению).

Апоптоз. Некоторые высокоспециализированные клетки (нейроны, часть лейкоцитов) у взрослых организмов никогда не делятся. Их клеточный цикл заканчивается *апоптозом* (<греч. apo от + ptosis падение) — запрограммированной гибелью. В аппарате Гольджи и лизосомах этих клеток активируются ферменты, разрушающие (лизирующие) основные компоненты цитоплазмы и ядра, далее клетка распадается на мембранные пузырьки, которые поглощаются клетками-фагоцитами, перерабатывающими посторонние компоненты. Воспалительного процесса не возникает. Апоптоз может проходить также посредством активации в клетках ферментов, разрушающих белки, ДНК и другие компоненты.

Посредством апоптоза уменьшаются в размерах молочные железы млекопитающих, головастики утрачивают хвост, а у личинок насекомых в ходе метаморфоза исчезают лишние ткани. Пальцы человеческого эмбриона соединены тканевыми перепонками, уничтожающимися в процессе эмбриогенеза.

Апоптоз помогает организму избавляться от клеток, в которых накопились генетические повреждения, а также от больных и состарившихся клеток. Многие вирусы, проникая в клетку, прежде всего нарушают ее механизм апоптоза, чтобы не быть уничтоженными вместе с больной клеткой.

Апоптоз может быть спровоцирован внешними факторами: химическим воздействием или облучением. На этом основано действие некоторых препаратов и специальных излучателей, вызывающих апоптоз раковых клеток.

Кроме апоптоза есть и другие механизмы, ограничивающие количество клеточных делений. Так, в результате каждого акта митоза концевые участки ДНК укорачиваются. Когда потеря генетического материала становится критической, клетка перестает делиться. Стволовые клетки, как и одноклеточные организмы, обладают способностью давать неограниченное количество поколений. В стволовых клетках, как и в клетках простейших, синтезируется особый фермент, удлиняющий концевые участки (теломеры) ДНК, — теломераза. У человека стволовыми являются, например, клетки красного костного мозга, из которых формируются эритроциты, лейкоциты и тромбоциты.



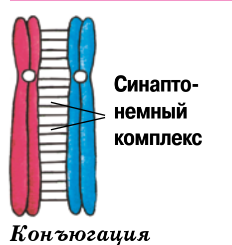
1. Почему удвоение ДНК называют молекулярной основой размножения?
2. Какие периоды составляют клеточный цикл?
3. В чем основное предназначение митоза? Опишите его фазы.
4. Чем амитоз отличается от митоза?

§ 19. Мейоз

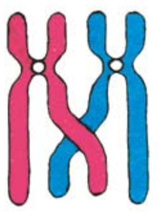
Развитие организма начинается с единственной клетки — зиготы (<греч. zygotos соединенный вместе), которая образуется от слияния специализированных половых клеток: мужской и женской гамет. Их ядра объединяются, и в зиготе оказывается вдвое больше хромосом, чем в каждой гамете. Если бы половые клетки были диплоидными, то в каждом следующем поколении количество хромосом в клетках организма удваивалось бы. Поэтому гаметы несут вдвое меньший набор хромосом. Таким образом, соматические клетки организмов имеют диплоидный набор хромосом и поддерживают его видовое постоянство посредством митоза, а половые — гаплоидный, который формируется в мейозе и восстанавливается до диплоидного при оплодотворении.

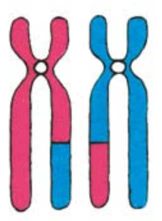
Мейоз (<греч. meiosis уменьшение) — способ деления клеток, приводящий к уменьшению (редукции) в них числа хромосом вдвое. Мейоз включает два последовательных деления: первое деление мейоза и второе, сходное с митотическим. Оба деления подобно митозу проходят четыре стадии: профазу, метафазу, анафазу и телофазу. Перед первым делением (еще в S-период), как и перед митозом, происходит репликация ДНК с удвоением числа хромосом ($2n2C \rightarrow 4n4C$). Каждая хромосома вступает в процесс деления удвоенной, она состоит из двух хроматид, удерживаемых вместе центромерой.

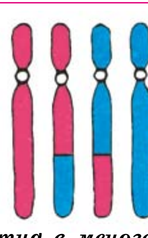
Первое мейотическое деление. В профазе гомологичные хромосомы подходят близко друг к другу и «пристегиваются» посредством специального синаптонемного комплекса, состоящего из белков. Образуется так называемая тетрада, состоящая из четырех хроматид: двух удвоенных гомологичных хромосом. В таком состоянии, называемом *конъюгацией* (<лат. conjugatio



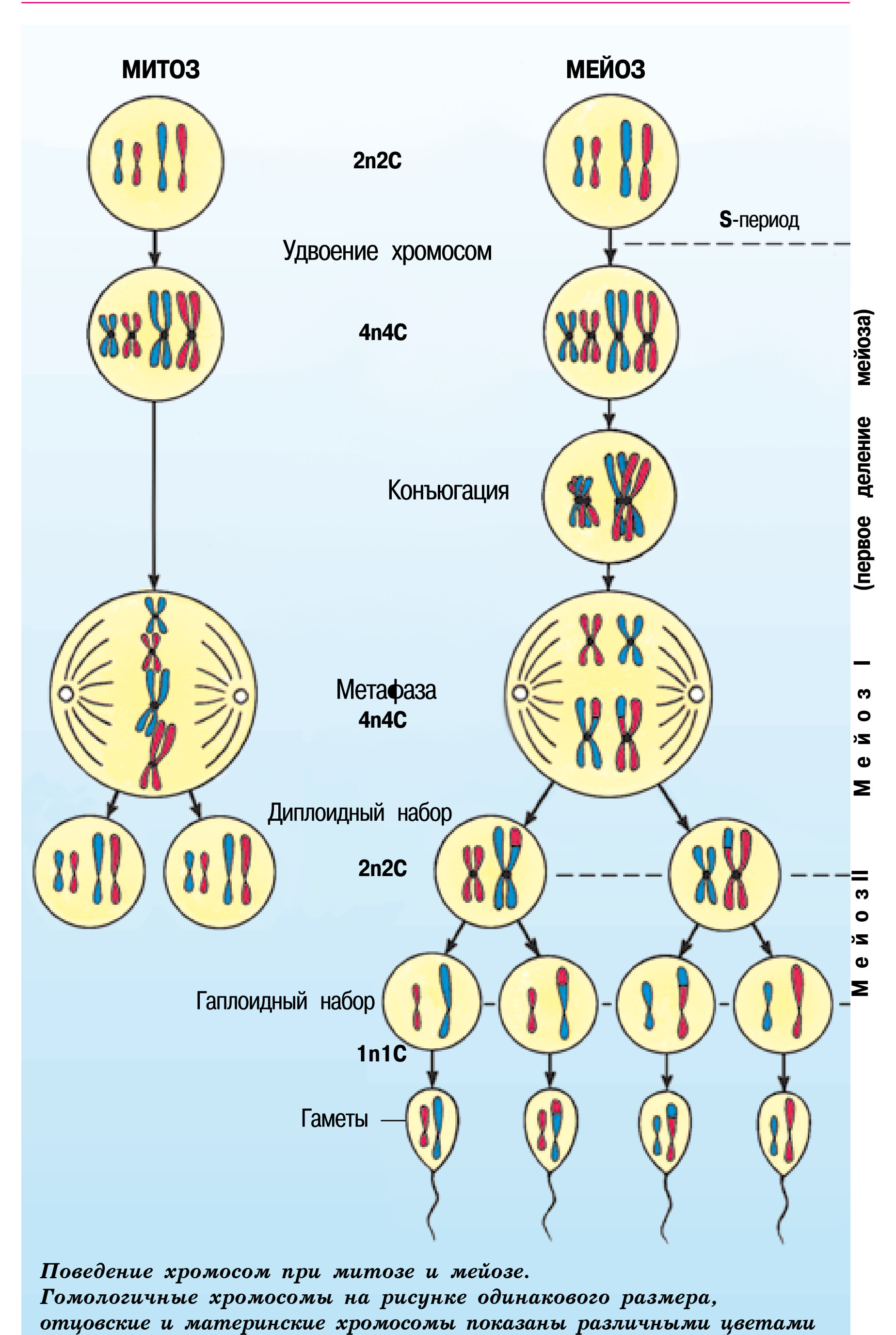
Конъюгация







Кроссинговер — перекрест хроматид в мейозе



Поведение хромосом при митозе и мейозе.
Гомологичные хромосомы на рисунке одинакового размера, отцовские и материнские хромосомы показаны различными цветами

соединение), они могут находиться довольно долго (часы, или даже дни), это самая продолжительная стадия мейоза. Конъюгирующие (<лат. conjugatio соединение) хромосомы плотно прилегают друг к другу и могут обмениваться гомологичными участками хроматид. Такой обмен гомологичными участками между несестринскими хроматидами называют *перекрестом*, или *кроссинговером* (<англ. crossing-over перекрест).

В конце профазы к центромерам хромосом присоединяется веретено деления, в анафазе они расходятся к разным полюсам деления. В телофазе на непродолжительный период образуется ядерная оболочка. В отличие от митоза удвоенные хромосомы не разделяются в центромерах, каждая пара хроматид взаимодействует с одним веретеном деления. Если в метафазе митоза к разным полюсам расходятся отдельные хроматиды, то в метафазе первого деления мейоза — конъюгировавшие гомологичные хромосомы, представленные сдвоенными хроматидами.

Второе мейотическое деление. Перед вторым мейотическим делением удвоения ДНК не происходит, а сестринские хроматиды остаются соединенными центромерами. Второе мейотическое деление протекает значительно быстрее (конъюгации не происходит) и осуществляется аналогично митозу. В дочерние клетки расходятся отдельные хроматиды. Таким образом, *в мейозе на один акт репликации ДНК (в интерфазе первого мейотического деления) приходится два цикла расхождения хромосом, что приводит к редукции их числа в половых клетках.* Из исходной клетки с 4n числом хроматид образуется в первом делении две клетки с 2n числом хроматид, а после второго деления — четыре гаплоидные половые клетки с 1n числом хроматид (хромосом).

Соматические клетки содержат по две гомологичных хромосомы (одинаковых по форме и размеру, несущих одинаковые группы генов): одну — от отцовского организма, другую — от материнского. В половых клетках из двух гомологичных хромосом остается только одна, поэтому и набор хромосом — гаплоидный. Если при митозе количество генетической информации сохраняется, то при мейозе сокращается вдвое. *В формировании половых клеток с уменьшенным вдвое гаплоидным набором хромосом состоит биологическая сущность мейоза.*

Хромосомные наборы созревших половых клеток вследствие случайности расхождения пар к полюсам в метафазе первого деления содержат самые разнообразные комбинации родительских хромосом. Гамета может иметь, например, 5 отцовских и 18 материнских хромосом (всего у человека 23 хромосомы), 20 отцовских и 3 материнских и т.д. В гамету попадает одна из двух родительских гомологичных хромосом, поэтому вариантов гамет может быть 2^{23} (8,4 млн). В зиготе количество возможных комбинаций хромосом составляет 4^{23}, это число в тысячи раз

превышает население земного шара. Кроссинговер, перекомбинируя (перемешивая) в хромосомах гены родительских особей, еще на многие порядки увеличивает разнообразие признаков в потомстве. Такое разнообразие возможных генотипов делает каждое существо неповторимым, генетически уникальным.

В период деления генетический материал очень уязвим. Если, например, в результате облучения или воздействия химических соединений произойдет разрыв ДНК в момент расхождения хромосом, то часть наследственного материала утратится. Потеря участка ДНК в соматической клетке при митозе приведет к нарушению только в ее дочерних клетках, составляющих небольшую часть организма. Если же утратится часть хромосомы при мейозе, то пострадает потомство: его наследственная информация будет неполной, какие-то процессы жизнедеятельности не смогут осуществляться. При этом большей опасности подвергается женский эмбрион, поскольку весь запас женских гамет (у человека около 400—500) формируется в эмбриональный период сразу на всю жизнь, мужские же гаметы (у человека около 500 млрд) образуются практически весь период жизнедеятельности. Незначительные дозы радиации, совсем не опасные для самого организма, могут нарушить хромосомы яйцеклеток эмбриона и привести к генетическим аномалиям в следующем поколении.



1. Почему половые клетки содержат гаплоидный набор?
2. Опишите основные фазы мейоза.
3. В чем отличие метафаз митоза и мейоза?
4. Какие два процесса мейоза обеспечивают разнообразие признаков в потомстве?
5. Чем опасно химическое и радиационное воздействие при вынашивании девочек?

§ 20. Способы размножения организмов

Все известные способы размножения организмов в природе сводятся к двум основным формам: бесполой и половой.

Бесполое размножение. В бесполой форме размножение осуществляется родительской особью самостоятельно, без обмена наследственной информацией с другими особями. Дочерний организм образуется путем отделения от родительской особи единственной или многих соматических клеток и дальнейшего их размножения посредством митоза. Потомство наследует признаки родителя, являясь в генетическом отношении его точной копией (клоном — <лат. clon отпрыск, ветвь). Различают несколько типов бесполого размножения.

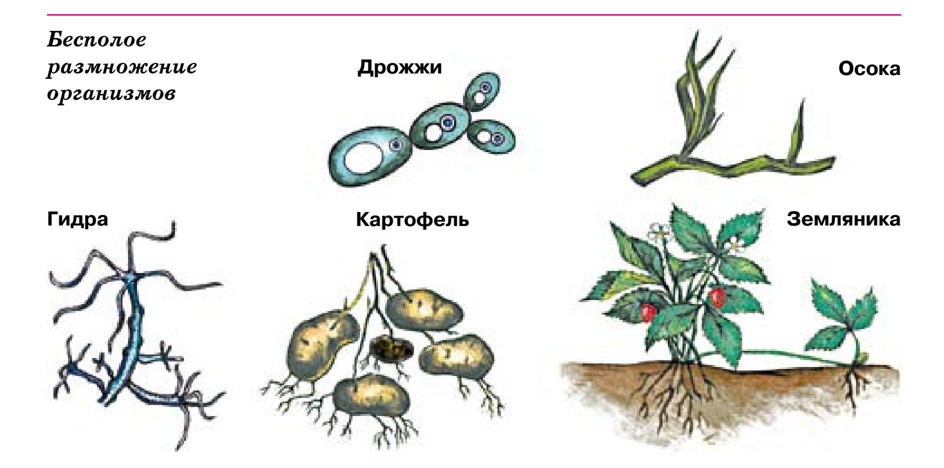
Простое деление особенно распространено у бактерий и некоторых одноклеточных эукариот (например, дрожжей), одиночная клетка которых разделяется пополам посредством митоза. Каждая дочерняя клетка является целостным функциональным организмом.

Простым делением размножаются амебы, инфузории, эвглены и другие простейшие. Разделение происходит посредством митоза, поэтому дочерние организмы получают от родительских тот же набор хромосом.

Почкование. Этот тип размножения используют некоторые многоклеточные организмы: губки, кишечнополостные (гидры, коралловые полипы). Почкование у пресноводных гидр происходит следующим образом. Сначала на стенке тела гидры образуется вырост, который постепенно удлиняется. На его конце появляются щупальца и ротовое отверстие. Из почки вырастает маленькая гидра, она отделяется и становится самостоятельным организмом. У других кишечнополостных (полипов) дочерние организмы могут оставаться на теле родителя.

Фрагментация. Ряд кишечнополостных, плоские и кольчатые черви, морские звезды могут размножаться расчленением тела на фрагменты, которые затем достраиваются до целого организма. Морская звезда способна развиться из отдельного луча, гидра — из 1/200 части организма. В основе фрагментации лежит способность многих простых существ к регенерации утраченных органов. Обычно размножение фрагментацией происходит при повреждениях. Самопроизвольная фрагментация известна только у плесневых грибов и некоторых плоских червей. Так, червь планария при неблагоприятных условиях распадается на отдельные части, каждая из которых при наступлении благоприятных условий способна развиться в целый организм.

Бесполое размножение организмов



Спорообразование. Родоначальницей нового организма может стать специализированная клетка родительского существа — спора. Такой способ размножения характерен для ряда растений и грибов. Размножаются спорами многоклеточные водоросли, мхи, папоротники, хвощи и плауны.

Споры представляют собой клетки, покрытые прочной оболочкой, защищающей их от чрезмерной потери влаги и устойчивой к температурным и химическим воздействиям. Споры наземных растений пассивно переносятся ветром, водой, живыми существами. Попадая в благоприятные условия, спора раскрывает оболочку и приступает к митозу, образуя новый организм. Водоросли и некоторые грибы, обитающие в воде, размножаются зооспорами, снабженными жгутиками для активного передвижения.

Вегетативное размножение. Этот вид бесполого размножения широко распространен у растений. В отличие от спорообразования вегетативное размножение осуществляется не особыми специализированными клетками, а практически любыми частями вегетативных органов.

Многолетние дикорастущие травы размножаются корневищами (осот дает до 1 800 особей/м^2 почвы), земляника — усами, а виноград, смородина и слива — отводками. Картофель и георгины используют для размножения клубни — видоизмененные подземные участки побега. Тюльпаны и лук размножаются луковицами. У деревьев и кустарников укореняются с образованием нового растения побеги — черенки, а у бегонии роль черенков способны выполнять листья. Черенками размножают смородину, сливу и розы. На корнях деревьев и кустарников образуется поросль, которая затем превращается в самостоятельные растения.

Шизогония (<греч. shizo разделяю). Одноклеточное животное малярийный плазмодий (возбудитель малярии) размножается посредством шизогонии — множественного деления. Сначала в его клетке путем делений формируется большое количество ядер, затем клетка распадается на множество дочерних.

Половое размножение. В половом размножении, в отличие от бесполого, участвует, как правило, пара особей. Половые клетки (гаметы) несут гаплоидные наборы хромосом. При оплодотворении гаметы (<греч. gamete жена, gametes муж) родителей сливаются и образуют диплоидную оплодотворенную яйцеклетку (зиготу), которая дает начало новому организму.

Одна из гомологичных хромосом в зиготе и происходящих от нее соматических клетках — от «мамы», а другая — от «папы». В результате хромосомы родительских особей объединяются, и в потомстве появляются новые комбинации генов. Разнообразие генетического материала позволяет потомству успешнее

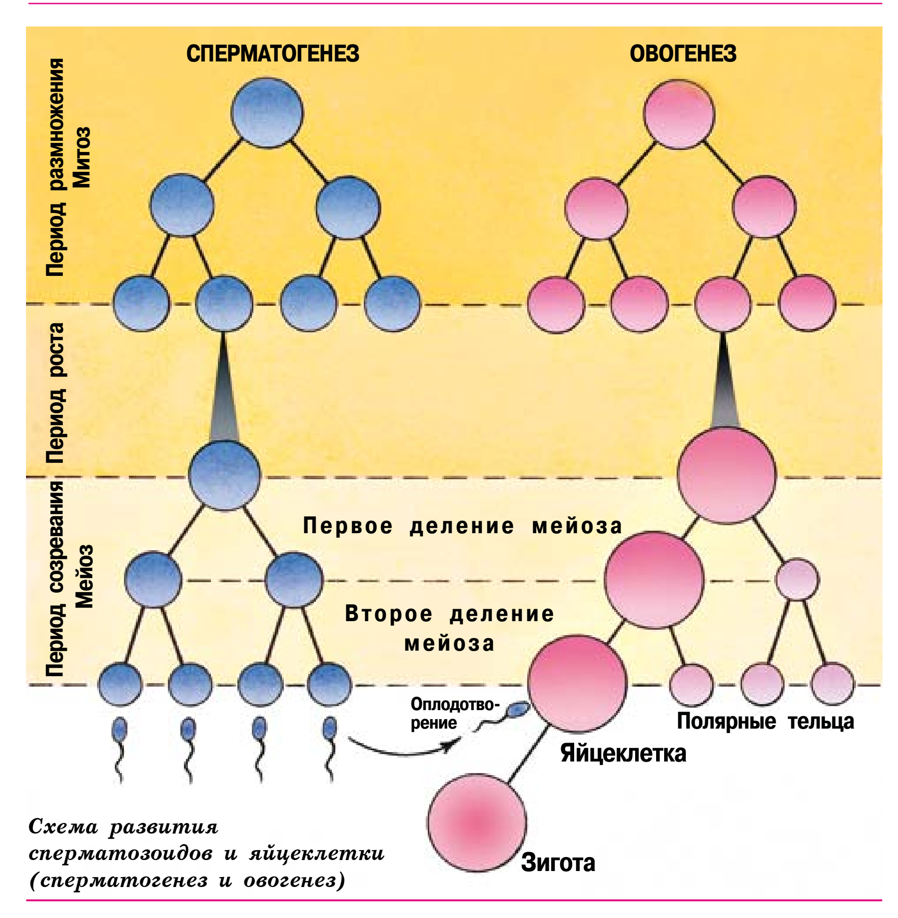


Схема развития сперматозоидов и яйцеклетки (сперматогенез и овогенез)

приспосабливаться к изменяющимся внешним условиям. *В увеличении разнообразия индивидуальной наследственной информации состоит главное преимущество полового размножения, его основное биологическое значение.*

Для большинства организмов характерно перекрестное оплодотворение. Широко распространено самооплодотворение только у растений (путем самоопыления), однако у многих обоеполых растений имеются особенности, исключающие самооплодотворение. Тычинки и пестики обоеполых цветков созревают не одновременно, поэтому происходит именно перекрестное опыление разных особей. Среди животных самооплодотворение встречается только у гермафродитных форм (у одной особи имеются мужские и женские половые органы), например, у ряда пиявок, брюхоногих моллюсков, некоторых рыб.

Развитие половых клеток. Формирование половых клеток (гаметогенез) происходит в половых железах. Развитие жен-

ских гамет (яйцеклеток) происходит в яичниках и носит название *овогенеза* (<лат. ovum яйцо + genesis происхождение). Мужские гаметы (сперматозоиды) формируются в семенниках в процессе *сперматогенеза* (<греч. spermatos семя). Гаметогенез происходит последовательно в трех зонах: размножения, роста и созревания. Соответственно выделяют и три периода развития гамет.

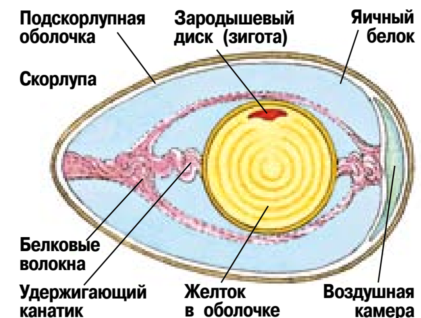
В начальный период размножения будущие половые клетки имеют диплоидный набор хромосом и делятся посредством митоза. Особенно интенсивно размножаются мужские клетки млекопитающих. У мужских особей гаметы образуются практически всю жизнь. Формирование яйцеклеток млекопитающих происходит только в эмбриональный период, далее они сохраняются в состоянии покоя.

Попадая в зону роста, будущие половые клетки уже не делятся, а только растут. Предшественники мужских гамет вырастают не слишком сильно, а яйцеклетки увеличивают свои размеры в сотни и миллионы раз (диаметр яйцеклетки кистеперой рыбы латимерии может достигать 9 см). После того как клетки вырастают до размеров взрослых половых клеток, они попадают в зону созревания, в которой происходит мейоз.

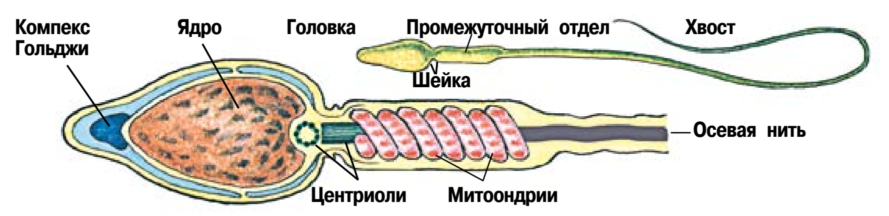
Созревание яйцеклеток и сперматозоидов протекает в основном сходным образом, различия возникают только на последней стадии по следующей причине. Для успешного оплодотворения необходимо достаточно большое количество сперматозоидов. Поэтому все четыре образовавшиеся мужские клетки оказываются функциональными и жизнеспособными. Основной задачей яйцеклетки является не только оплодотворение, но и успешное созревание плода. С этой целью процесс деления происходит неравноценно: весь желток остается в яйцеклетке, и она оказывается единственной жизнеспособной. Остальные три клетки вскоре разрушаются посредством апоптоза. Их называют направительными, или полярными тельцами.

Внешние оболочки яйцеклетки надежно защищают эмбрион, через них, в особенности сквозь скорлупу птичьих яиц, бактерии и вирусы не проникают, а воздух проходит.

Сперматозоиды значительно меньше яйцеклеток. У млекопитающих они имеют форму длинной нити с головкой, шейкой и жгутиком. В головке содержатся хромосомы, а на ее передней части — аппарат Гольджи



Строение куриного яйца



Строение сперматозоида млекопитающих

с ферментами, растворяющими оболочку яйцеклетки для проникновения ядра. Оболочка сперматозоида остается снаружи. Центриоль принимает участие в формировании веретена деления зиготы сперматозоида. Вторая центриоль образует жгутик, позволяющий сперматозоиду интенсивно передвигаться. Источником энергии для движений жгутика служит как АТФ, синтезируемая митохондриями, так и получаемая в процессе гликолиза. Мужские гаметы не только вносят генетическую информацию, но и инициируют дальнейшее развитие оплодотворенной яйцеклетки.



1. В чем отличие бесполого размножения от полового? Назовите главное преимущество полового размножения.
2. Перечислите основные типы бесполого размножения.
3. Откуда появляется в дочернем организме пары гомологичных хромосом при бесполом и половом размножении?
4. Опишите три периода созревания гамет; какой из них называют мейозом?
5. Как вы думаете, для чего и почему зародышевый диск в курином яйце всегда оказывается в верхней части желтка?

§ 21. Оплодотворение

Оплодотворением называют слияние мужской и женской гамет (специализированных половых клеток, имеющих гаплоидный набор хромосом), приводящее к образованию оплодотворенной диплоидной яйцеклетки — зиготы. Сущность процесса оплодотворения составляет слияние ядер гамет. Таким образом, при оплодотворении восстанавливается двойной набор, характерный для соматических клеток. Ядро зиготы содержит две гомологичных хромосомы, то есть любой признак (например, цвет глаз человека или шерстистость собаки) записан в ДНК дважды — в генах отца и в генах матери. После оплодотворения зигота приступает к митотическим делениям — начинается развитие нового организма.

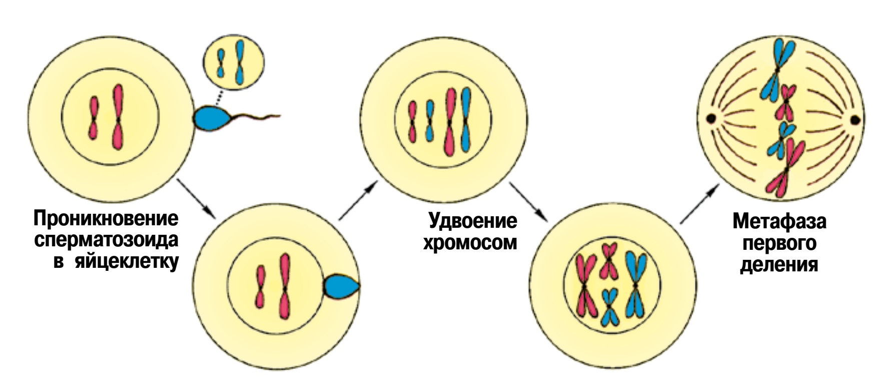
Оплодотворение, как и гаметогенез, имеет сходные черты у растений и животных.

Оплодотворение у животных. Населяющие планету живые организмы различаются строением, образом жизни, средой обитания. Одни из них производят очень много половых клеток, другие — относительно мало. Существует разумная закономерность: чем меньше вероятность встречи мужской и женской гамет и чем меньше выживаемость зиготы и потомства, тем большее число половых клеток продуцируют организмы. Рыбам и земноводным свойственно наружное оплодотворение. Их гаметы попадают в воду, где и происходит оплодотворение. Многие гаметы погибают или поедаются другими существами, поэтому эффективность наружного оплодотворения очень низка. Для сохранения вида рыбам и амфибиям необходимо производить огромное количество гамет (треска мечет каждый раз около 10 млн икринок).

Высшие животные и растения используют внутреннее оплодотворение. В этом случае процесс оплодотворения и образующаяся зигота защищены организмом матери. Вероятность оплодотворения и выживания потомства значительно повышается, поэтому и продуцируется лишь несколько яйцеклеток. Но сперматозоидов все же производится достаточно много, их избыточное количество необходимо для создания вокруг яйцеклетки определенной химической среды, без которой оплодотворение невозможно. Существуют механизмы, препятствующие проникновению лишних сперматозоидов в яйцеклетку. После проникновения одного из них она выделяет вещество, подавляющее подвижность мужских гамет. Даже если их успевает проникнуть несколько, то с яйцеклеткой сливается только один, остальные гибнут.

Партеногенез (<греч. parthenos девственница). Ряд животных (дафнии, скальные ящерицы, некоторые рыбы, тли) и растения (одуванчик) в определенные периоды способны размножаться

Оплодотворение и начало дробления зиготы у животных



без слияния мужской и женской гамет. Развитие происходит из неоплодотворенной яйцеклетки. Диплоидность, например, у скальных ящериц достигается слиянием яйцеклетки с полярным тельцем. При этом, как правило, образуются особи только женского пола. Эта разновидность размножения называется *партеногенезом*. Таким образом, партеногенез — половое, но однополое размножение.

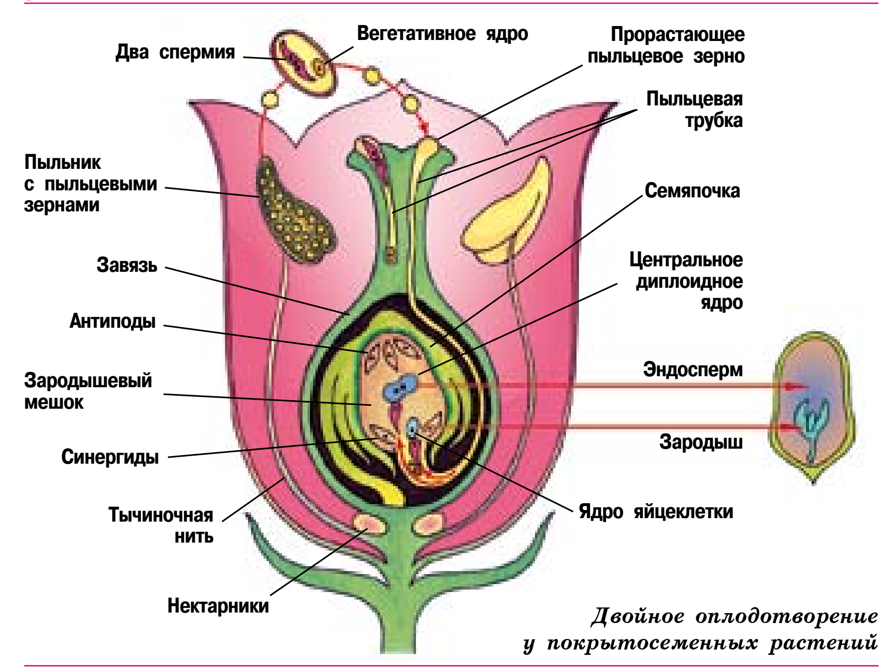
Пчелиная матка откладывает два вида яиц: оплодотворенные диплоидные и неоплодотворенные гаплоидные. Из неоплодотворенных яиц развиваются трутни, а из оплодотворенных — самки, из которых при хорошем кормлении вырастают матки, а при создаваемом недостатке питания получаются рабочие пчелы.

Иногда партеногенез можно вызвать искусственно, воздействуя светом, кислотами, высокой температурой и другими агентами. Если, например, уколоть иглой неоплодотворенную яйцеклетку лягушки, то эта яйцеклетка может начать развитие во взрослую особь. Самопроизвольно партеногенез у лягушек не происходит. Деление яйцеклетки некоторых рыб может начаться после поверхностного контакта со сперматозоидом рыб близкого вида. Оплодотворения не происходит, но яйцеклетка начинает делиться.

Искусственный партеногенез впервые был осуществлен русским ученым А. А. Тихомировым в 1886 г. посредством обработки яиц тутового шелкопряда серной кислотой, а также механического воздействия. Основным современным способом разведения тутовых шелкопрядов является стимулирование партеногенеза путем кратковременного нагревания яиц до 46 °С. Из неоплодотворенных яйцеклеток развиваются полноценные в генетическом отношении самки шелкопряда. Значительный вклад в изучение генетических механизмов партеногенеза внесли отечественные ученые академики Б. П. Астауров (1936 г.) и В. А. Струнников (1974 г.).

Оплодотворение у покрытосеменных (цветковых) растений при общем сходстве с оплодотворением животных имеет некоторые особенности. Процесс формирования мужских гамет носит у них название микроспорогенеза, а женских — мегаспорогенеза. Развитие микроспор происходит в пыльниках. Каждая из четырех появившихся в результате мейоза микроспор (сравните со сперматогенезом) делится путем митоза и образует два гаплоидных ядра: генеративное и вегетативное. Из генеративного ядра в результате второго деления митоза образуется еще два ядра — спермии.

Из четырех мегаспор три дегенерируют (сравните с овогенезом), а четвертая дает начало зародышевому мешку. После периода роста мегаспоры ее гаплоидное ядро обычно делится трижды с образованием восьми гаплоидных ядер. Одно ядро обо-



Двойное оплодотворение у покрытосеменных растений

собляется и дает начало ядру яйцеклетки, два других сливаются, образуя центральное диплоидное ядро. Три ядра (антиподы) перемещаются в дальнюю от пыльцевой трубки часть зародышевого мешка, еще два ядра (синергиды) располагаются у места проникновения спермия в зародышевый мешок (микропиле).

Пыльцевое зерно, попадая на рыльце пестика, набухает, вегетативное ядро формирует пыльцевую трубку, прорастающую по направлению к семяпочке. Вместе с этой трубкой спермии перемещаются внутрь пестика. Когда кончик трубки касается синергид, трубка разрывается, синергиды разрушаются, а спермии попадают в зародышевый мешок.

Один из них сливается с гаплоидным ядром яйцеклетки и образует зиготу, из которой формируется зародыш будущего растения. Второй спермий сливается с диплоидным ядром, в результате образуется триплоидное ядро, дающее начало эндосперму. Путем многократных митозов эндосперм формирует питательную среду вокруг зародыша. Таким образом, в одной развившейся многоядерной клетке мегаспоры (зародышевом мешке) происходят два акта оплодотворения.

Второе оплодотворение с образованием и развитием эндосперма происходит только после того как оплодотворится яйцеклетка. Этот универсальный для всех покрытосеменных растений половой процесс носит название двойного оплодотворения. Он открыт в 1898 г. известным русским ботаником С. Г. Навашиным.



1. В чем заключается генетическая сущность оплодотворения?
2. Как объяснить на молекулярном уровне присутствие у потомства признаков отца и матери?
3. Как происходит оплодотворение у животных?
4. Что называют партеногенезом?
5. Опишите последовательность оплодотворения у растений.
6. Почему оплодотворение покрытосеменных растений называют двойным?

Глава 5. ИНДИВИДУАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ ОРГАНИЗМОВ (ОНТОГЕНЕЗ)

Онтогенез (<греч. ontos существо + genesis развитие) — индивидуальное развитие особи от зарождения (оплодотворения яйцеклетки, отделения органа вегетативного размножения или деления материнской одноклеточной особи) до конца жизни (смерти или нового деления особи). В ходе онтогенеза происходит рост организма, специализация различных групп клеток по функциям, формируется взаимодействие его структур.

Процесс образования целого организма из единственной клетки — зиготы — не перестает удивлять и озадачивать ученых. Зигота содержит только наследственные задатки — гены, она не обладает характерными признаками и свойствами целого организма. Каким образом она реализует наследственную информацию и развивается в сложный многофункциональный организм, состоящий из множества разновидных тканей и органов? Выяснение механизма этого развития — одна из самых сложных проблем современной биологии.

Изучением зародышевого развития занимается *эмбриология* (<греч. embryon зародыш). Еще в IV в. до Р.Х. Гиппократ и Аристотель изучали развитие зародышей животных (в основном, кур). Значительные успехи были достигнуты У. Гарвеем («Исследования о зарождении животных», 1651 г.) и К. Ф. Вольфом («Теория зарождения», 1759 г.). Идеи Вольфа были развиты академиком Петербургской академии наук К. М. Бэром. В 1828 г. он изложил учение об основополагающих структурах эмбриона — зародышевых листках. Карл Бэр доказал, что у всех позвоночных единый план закладки тканей и органов, отчетливо проявляющийся на начальных стадиях формирования. Поэтому в период раннего эмбрионального развития все позвоночные очень похожи (закон зародышевого сходства). Признаки класса, рода, вида и, наконец, конкретной особи последовательно проявляются в их строении в процессе дальнейшего роста.

Исследование зародышевых листков продолжил А. О. Ковалевский. Он обнаружил эктодермальные, энтодермальные и мезодермальные листки (слои) у всех групп хордовых. Существенный вклад в развитие эмбриологии внес И. И. Мечников.

Начальный период онтогенеза, заканчивающийся выходом организма из яйцевых или зародышевых оболочек, называют *эмбриогенезом*. Следующий период, продолжающийся до половой зрелости, носит название *постэмбриогенеза*, дорепродуктивного или ювенильного (<лат. juvenilis юный) периода. Стадия взрослой особи включает репродуктивный (период размножения) и пострепродуктивный периоды. Если на ювенильном этапе продолжается рост и развитие, то на репродуктивной стадии организм представляет собой уже устойчивую систему; пострепродуктивный период завершается старением и смертью.

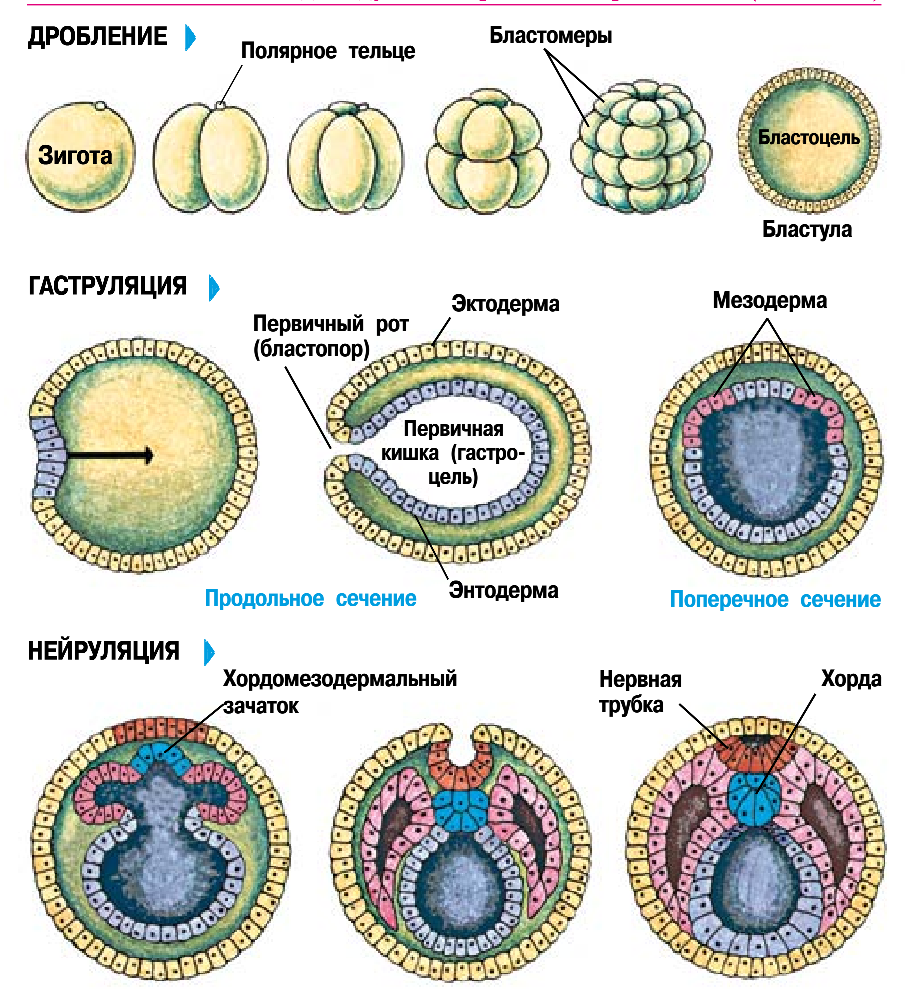
§ 22. Эмбриональное развитие

На примере представителя хордовых ланцетника рассмотрим основные стадии эмбриогенеза: дробление, гаструляцию, гисто- (<греч. histos ткань) и органогенез.

Дробление зиготы. Бластула. Через несколько десятков минут после оплодотворения зигота начинает делиться посредством митоза. Сначала возникает вертикальная борозда дробления (перетяжка цитоплазмы), и клетка делится на две одинаковых клетки, называемые *бластомерами* (<греч. blastos росток + meros доля). Затем другая вертикальная борозда разделяет эти два бластомера на четыре. Третья борозда проходит горизонтально и синхронно разделяет 4 бластомера на 8. Далее вертикальные и горизонтальные борозды быстро чередуются, увеличивая количество бластомеров: 16, 32, 64, 128... — до нескольких сотен и тысяч. С ростом количества клеток синхронность дробления теряется.

Дробление происходит очень быстро: у эмбриона лягушки первые тринадцать дроблений занимают всего 6 часов. Быстрота достигается отсутствием роста. Во время короткой интерфазы происходит только репликация ДНК, поэтому процесс и назван дроблением. Бластомеры становятся все мельче и все дальше отходят от центра, образуя полый шарик — *бластулу* (возникшую полость называют бластоцелью). Начиная с бластулы, клетки зародыша принято называть уже не бластомерами, а эмбриональными клетками. По своим размерам бластула лишь немного больше зиготы, с которой началось дробление. Удвоение ДНК и дробление происходит за счет энергии АТФ и веществ, накопленных заранее в цитоплазме яйцеклетки.

Цитоплазма яйца ланцетника содержит маленький желток и поэтому дробится на приблизительно равные бластомеры.



Ранние стадии развития ланцетника

У птиц желток большой, он вытесняет ядро на периферию подобно крупной вакуоли растительной клетки. По этой причине поперечные борозды дробления зиготы концентрируются на периферийной части яйца, и бластомеры, не содержащие желтка, оказываются существенно мельче. Характерной особенностью дробления зиготы является отсутствие перемешивания цитоплазмы. Бластомеры оказываются неравноценными, создавая основу для будущей дифференциации клеток на группы тканей и органов.

Гаструляция — образование двух- или трехслойного зародыша. Когда число бластомеров достигает нескольких сотен или тысяч, у многоклеточных животных наступает следующий

этап эмбриогенеза: образование двухслойного зародыша — *гаструлы* (<греч. gaster желудок). У разных групп животного мира формирование гаструлы происходит с характерными особенностями. Наиболее характерно впячивание одного из полушарий внутрь другого. Возникающую полость (гастроцель) называют первичным кишечником (его клетки впоследствии образуют пищеварительные органы), а отверстие — первичным ртом (бластопором).

У первичноротых (плоских, круглых и кольчатых червей, моллюсков, членистоногих) бластопор впоследствии становится ротовым отверстием. У вторичноротых (иглокожих, хордовых) ротовое отверстие открывается на противоположном конце зародыша, а бластопор преобразуется в анальное отверстие.

С образованием гаструлы появляются первые признаки дифференциации клеток. Внешний клеточный слой носит название *эктодермы*, внутренний — *энтодермы* (<греч. derma кожа). Клеточные слои эмбриона называют *зародышевыми листками*. У всех многоклеточных животных, за исключением двухслойных (губок, кишечнополостных, круглых червей), на границе между эктодермой и энтодермой в процессе гаструляции начинает обосабливаться и третий зародышевый слой — *мезодерма* (<греч. mesos средний). Эмбрион становится трехслойным.

Сущность процесса гаструляции состоит в перемещении клеток и в изменении формы эмбриона. Бластомеры в этот период практически не делятся и не растут.

Гисто- и органогенез. Формирование тканей и органов начинается с *нейруляции* — формирования отдельных осевых органов: нервной трубки, хорды, кишечной трубки, осевой мезодермы. Продольный фрагмент эктодермы (вдоль будущего позвоночника) вдается внутрь желобком, образуя трубку — зачаток центральной нервной системы. В спинной части зародыша на границе между энтодермой и мезодермой обособляется хордомезодермальный зачаток — будущая хорда.

С самого начала передний конец нервной трубки несколько расширен — это будущий головной мозг. По бокам его образуются два округлых зачатка глаз. Втягивания эктодермы формируют также зачатки органов слуха и обоняния. Из центральной части нервной трубки образуются спинной мозг и периферическая нервная система. Кроме того, из эктодермы формируются внешние покровные ткани: эпителий кожи, эмаль зубов и пр.

Брюшные энтодермальные клетки образуют трубку — будущий кишечник. Из выростов этой трубки формируются зачатки печени, легких (плавательный пузырь и внутренние жабры рыб), желез поджелудочной и вилочковой (органа иммунной системы).

Из зачатков мезодермы формируются мышцы, хрящевой и костный скелет, почки, кровеносная, выделительная и половая системы. На стадии органогенеза зародыш заметно подрастает.

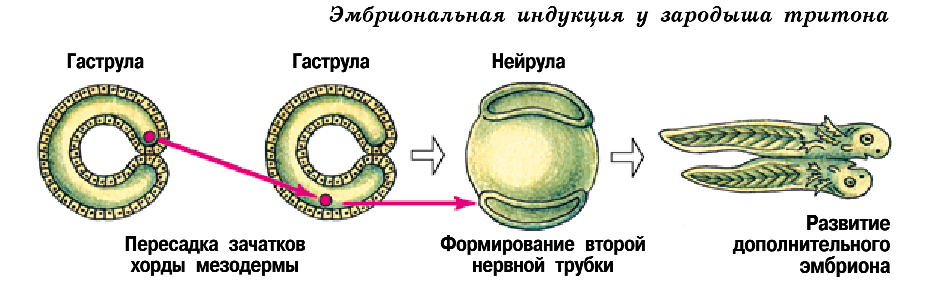
Дифференцировка клеток зародыша. Дифференцировкой называют процесс формирования биохимических, структурных и физиологических различий между клетками. Дифференцировка приводит к возникновению многочисленных зачатков органов и тканей. Эти клетки все более специализируются, образуя сотни типов специфических групп, отличающихся друг от друга по строению и функциям. С биохимической точки зрения это выражается в синтезе белков, свойственных каждому типу клеток. Клетки эпителия кожи синтезируют кератин, поджелудочной железы — инсулин. Суть биохимической специализации состоит во включении характерных групп генов в клетках разных зародышевых листков — будущих органах и тканях.

Все ткани и органы будущего существа развиваются в тесном взаимодействии. В состав желудка помимо энтодермальной ткани эпителия входят эктодермальные нервные клетки и мезодермальная гладкая мускулатура. Эктодермальная по своему происхождению нервная ткань спинного и головного мозга оказывается окруженной мезодермальными хрящевой и костной тканями. Столь точная согласованность обеспечивается взаимным влиянием задатков будущих тканей и органов в процессе развития.

Взаимное влияние частей развивающегося зародыша (эмбриональная индукция). На начальных стадиях дробления бластомеры еще не дифференцированы и практически неразличимы. Если такой эмбрион разделить на две части, то из каждой разовьется полноценный организм. Это свойство эмбрионов иногда приводит к возникновению однояйцевых близнецов у людей, а у некоторых насекомых полиэмбриония является нормой.

Клетки начинают дифференцироваться в процессе роста. Согласованность их развития осуществляется взаимовлиянием. Формирующиеся органы и ткани регулируют развитие и свойства соседних групп клеток, включая и выключая в них транскрипцию отдельных генов, а значит, и синтез всего комплекса свойственных клетке соединений.

Эмбриональная индукция у зародыша тритона



Для выяснения взаимовлияния тканей проводились следующие эксперименты. От раннего эмбриона отделялись небольшие участки будущих эктодермальной и энтодермальной тканей и выращивались в искусственной среде методом культуры тканей отдельно друг от друга. В результате формировались группы клеток, лишь отдаленно напоминающие эпителиальные ткани. Если же культуры смешивали, то благодаря взаимовлиянию они формировали ткани, вполне сходные с нервными, хордовыми и мышечными.

Один из основателей экспериментальной эмбриологии немецкий ученый Т. Шпеман в 1920-х гг. в опытах с тритонами получил следующие важные для понимания эмбриогенеза результаты. На стадии гаструлы он пересадил клетки будущей хорды и мезодермы одного тритона под эктодерму брюшной части другого. В месте пересадки начинала развиваться сначала нервная трубка, а затем хорда и весь комплекс осевых органов. В некоторых экспериментах на брюшной части тритона формировался другой тритон. Пересаженный участок выполнял функцию *организатора* (*индуктора*), направляющего развитие соседних структур. Подобные организаторы были обнаружены у зародышей птиц, млекопитающих, беспозвоночных и растений.

Влияние одного зачатка на развитие другого получило название *эмбриональной индукции*. Важность индукции показывает следующий опыт: если у тритона удалить весь зачаток будущей хорды, то нервная трубка совсем не образуется. Участок эктодермы, отвечающий за ее формирование, преобразуется в покровную ткань, и такой эмбрион погибает. В развивающемся зародыше индукция всегда взаимная. Зачаток хорды не только служит индуктором для развития нервной трубки, но и сам нуждается в ее индуцирующем воздействии.

Эмбриональная индукция корректирует и направляет дифференцирование равноценных неспециализированных клеток бластулы в ткани и органы будущего эмбриона. Сеть индукционных взаимодействий сопровождает практически все процессы органогенеза, что свидетельствует о нарастании взаимосвязанности частей эмбриона, его целостности.



1. Чем удивительно формирование сложного организма из единственной клетки?

2. Какой причиной К.Бэр объяснял сходство эмбрионов позвоночных на начальных стадиях эмбриогенеза?

3. В чем заключаются особенности деления дроблением?

4. Опишите три основные стадии развития эмбриона. Назовите отличительные особенности каждой из них.

5. Как объяснить согласованность формирования различных зародышевых листков? Докажите примерами.

§ 23. Постэмбриональное развитие

Фаза постэмбрионального развития начинается с момента вылупления из яйца, а при внутриутробном развитии — с момента рождения. Эмбриональные периоды организмов во многом похожи, а их постэмбриональное развитие имеет существенные различия. Выделяют три типа онтогенеза животных: *личиночный, яйцекладный и внутриутробный*.

Личиночный тип онтогенеза обусловлен недостаточным для завершения формообразования запасом питательного желтка в яйцах, поэтому вышедший из яйцевых оболочек организм значительно отличается от взрослой особи. В конце личиночной стадии происходит *метаморфоз* (<греч. metamorphosis превращение), ряд личиночных органов разрушаются, образуются органы, присущие взрослой особи. Личиночный тип развития характерен для кишечнополостных, плоских и кольчатых червей, многих насекомых, а у позвоночных — для амфибий.

У личинки развиваются свои личиночные провизорные (временные) органы, которых нет у взрослого существа. Например, у личиночной формы лягушки (головастика) есть отсутствующие у лягушки жабры и хвост. В процессе метаморфоза провизорные органы разрушаются и заменяются другими, присущими взрослой особи. У головастика под влиянием гормонов щитовидной железы рассасывается хвост, появляются конечности, развиваются легкие.



Личиночный тип онтогенеза у земноводных



Онтогенез высших насекомых на примере бабочки

На личиночной стадии существо прекрасно приспособлено для активного питания и роста. Как правило, личинки и взрослые особи живут в разных условиях и питаются разной пищей. Так, лягушки основную часть времени проводят на суше и питаются насекомыми, а головастики живут в воде и питаются растительной пищей. Личинки стрекоз обитают в воде, а майских жуков — под землей. Отсутствие конкуренции между взрослыми особями и личинками за место и пищу повышает выживаемость вида. *Смена образа жизни и среды обитания составляет основное биологическое значение метаморфоза.*

В большинстве случаев постэмбриональный период гораздо продолжительней эмбрионального. Но бывает и совсем наоборот. Личинки поденок живут в водоемах 2—3 года, имея до 25 линек, а взрослые крылатые особи — несколько дней. В эти дни поденки уже не питаются: они летают, претерпевают две линьки, откладывают яйца и умирают. У личинок ряда насекомых (мух, жуков, бабочек) превращение во взрослую особь сопровождается столь глубокой внутренней перестройкой, что им необходима покоящаяся стадия — куколка. Почти все личиночные органы разрушаются, а органы взрослой особи формируются заново.

У некоторых малоподвижных червей, прикрепленных моллюсков, полипов личинки свободно плавают, занимая новые места обитания и способствуя распространению вида. Сидячее водное животное асцидия имеет очень простую внутреннюю организацию, а ее личинка устроена значительно сложнее и способна плавать. Личинка асцидии сходна с ланцетником: она имеет хорду, нервную трубку, мышцы и хвост, от которых у взрослой особи остается только зачаток нервного узла. По устройству личинки асцидию относят к хордовым, хотя взрослая особь хорды не имеет.



Колония асцидий и свободно плавающая личинка (увеличена)



Так завершается превращение неказистой куколки в прекрасную бабочку

У головастика — жабры, боковая линия, двухкамерное сердце, один круг кровообращения. Все эти признаки характерны для рыб. Сходство обитающих в воде личиночных форм с рыбами, по мнению одних ученых, доказывает, что жизнь появилась в процессе материалистической эволюции, и общие предки всех существ обитали когда-то в воде; другие ученые полагают, что это сходство с неменьшей убедительностью свидетельствует о едином плане создания жизни: каждое существо наделено органами и тканями, удобными в конкретной среде обитания.

Преображение неказистой куколки в красивую и легко порхающую бабочку, вырастание стройных колосьев из упавших в землю семян, увядание осенней природы и ее пробуждение весной христианские писатели сравнивают с умиранием человека в этой жизни и его грядущим воскресением.

Яйцекладный тип онтогенеза наблюдается у некоторых беспозвоночных, пресмыкающихся, птиц и ряда млекопитающих, яйца которых богаты питательными веществами. Зародыш развивается в яйце продолжительный период, благодаря чему вышедший организм относительно хорошо развит. Личиночная стадия отсутствует. Дальнейшее развитие зародыша сводится в основном к росту и созреванию, поэтому такой тип развития еще называют *прямым постэмбриональным развитием*, отличая от *непрямого развития* с метаморфозом. Питание, дыхание, вы-



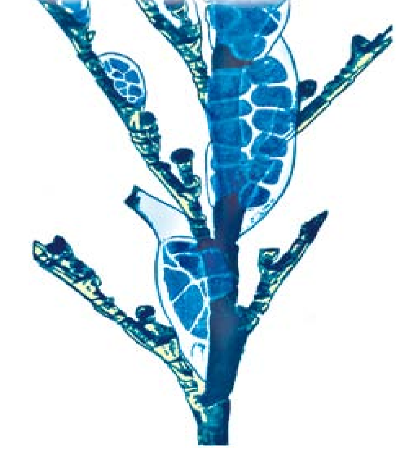
Зародышевые оболочки

деление и другие функции у зародыша в яйце выполняют провизорные органы — специальные зародышевые оболочки. Например, аллантоис выполняет дыхательную и выделительную функции, содержимое желточного мешка служит питанием и обеспечивает кроветворение, амнион заполнен жидкостью и предохраняет зародыш от высыхания, защищает его от механических повреждений.

Внутриутробный тип онтогенеза характерен для плацентарных млекопитающих и человека. Их яйцеклетки содержат мало питательных веществ. Все жизненные функции эмбриона осуществляются через организм матери, с которым эмбрион связан плацентой и другими провизорными органами. Эмбриогенез и постэмбриогенез у плацентарных принято называть *донатальным* и *постнатальным* периодами. Внутриутробный онтогенез способствует наибольшему выживанию потомства и завершается родами.

Жизненный цикл организма включает совокупность всех фаз развития, пройдя которые организм достигает половой зрелости и становится способным дать начало следующему поколению. Различают простой жизненный цикл (при прямом развитии) и сложный (при развитии с метаморфозом или с чередованием поколений). Под *чередованием поколений* понимают закономерную смену поколений, различающихся способом размножения. Разные поколения могут быть одной жизненной формой (чередуется, например, половое размножение с партеногенезом), а могут быть различными жизненными формами (например, полипы и медузы). Каждая жизненная форма, в отличие от личиночного онтогенеза, способна к размножению.

Таким образом, жизненный цикл организма при чередовании поколений включает два или более различных онтогенезов.



Чередование поколений: медузы отпочковываются от полипов, а полипы рождаются из яиц, отложенных в море медузами

Влияние окружающей среды на развитие организмов. Среди природных факторов особенно важны солнечный свет, температура, газовый и солевой состав среды обитания, пищевые ресурсы.

Для нормального развития всех птиц и млекопитающих необходим витамин D. Он образуется в коже под действием ультрафиолета или поступает с пищей. Отсутствие витамина D в пище при плохой освещенности солнцем мест обитания приводит к недостаточно активному формированию костной ткани и отставанию в развитии. К замедлению роста приводит и нехватка в пище йода, вызывающая снижение активности щитовидной железы. Питание продуктами, не содержащими незаменимые аминокислоты, тормозит синтез белков и тоже приводит к задержке постэмбриогенеза.

Эмбрион в курином яйце развивается лишь при определенной температуре окружающей среды; если она снижается, то он погибает. Семена пшеницы хорошо прорастают только при температуре около 1 °C, а кукурузы — при 12 °C.

Стрижи обладают любопытной особенностью, не свойственной другим птицам. При резком похолодании они оставляют свои гнезда с птенцами и быстро улетают на много километров из холодной зоны, отлучаясь на срок до двенадцати дней. У птенцов в это время резко снижается обмен веществ, замедляется дыхание. Они лежат в гнезде, плотно прижавшись друг к другу, совсем неподвижно — как бы замирают. Когда наступает потепление, родители возвращаются к своим гнездам и начинают почти насильно кормить птенцов; через некоторое время жизнь семейства возвращается в привычное русло.



Влияние неполноценного питания на развитие крыс

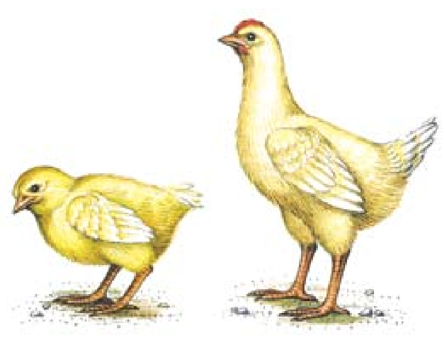


Без аминокислоты валина ***Без аминокислоты лизина***



После нормализации рациона

При недостаточном освещении у цыплят происходит отставание в развитии (на рис. слева)



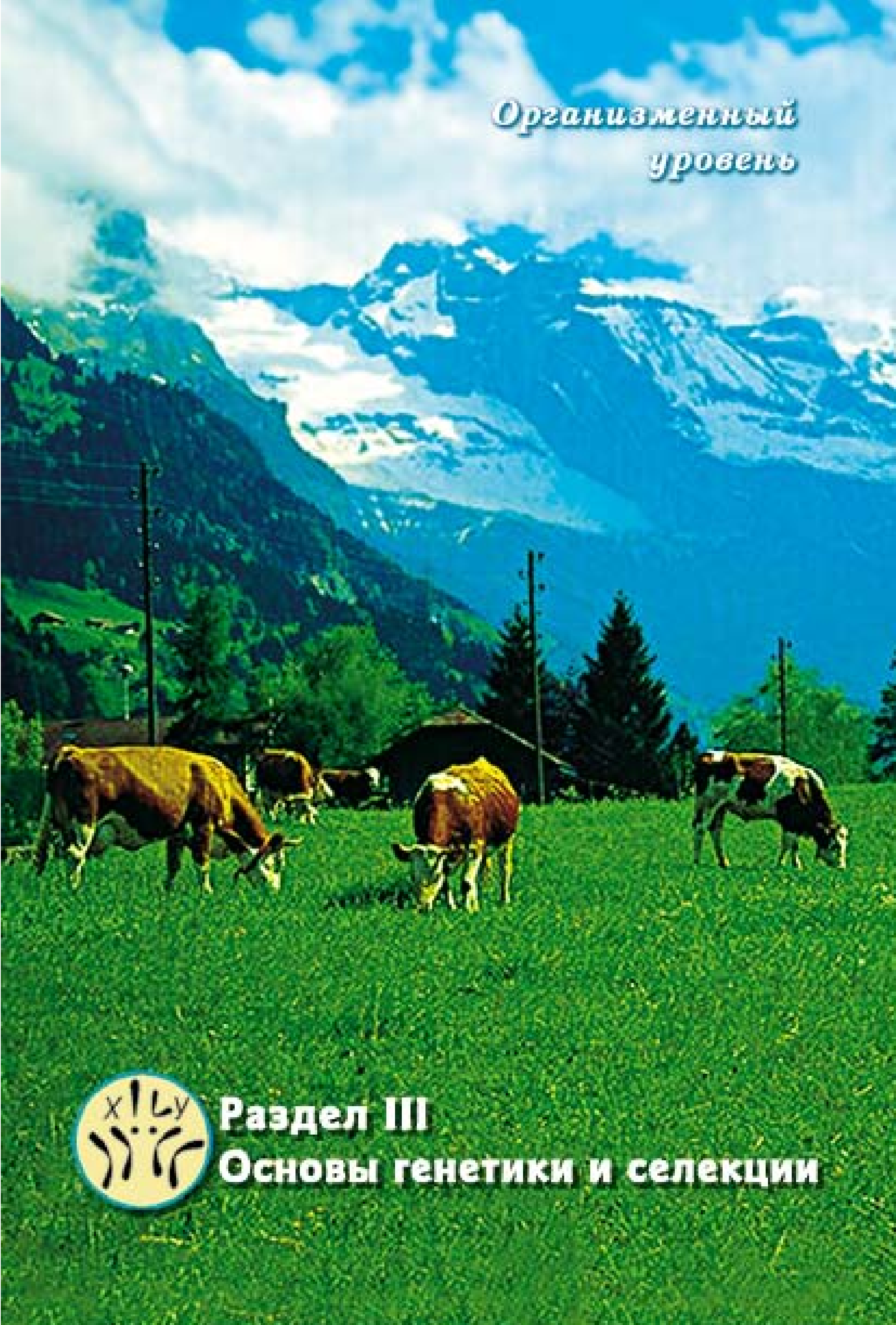
Вредное воздействие на развитие человеческого эмбриона оказывает наличие в организме матери алкоголя, никотина, наркотических веществ, избыточного количества лекарственных препаратов. Концентрация алкоголя в крови будущего ребенка достигает 70 % от его содержания в крови матери, а ведь его защитные системы еще не сформировались! Несозревшая печень не в состоянии справиться с поступающими в организм ядами, и они накапливаются в тканях ребенка. У эмбриона может наблюдаться замедление и серьезные отклонения в развитии, вплоть до врожденных уродств. Согласно статистике, у матерей, даже умеренно употреблявших во время беременности алкоголь, в 5 раз чаще рождаются дети с отклонениями, чем у непьющих. Дети наркоманов и алкоголиков становятся зависимыми еще до рождения.

Алкоголь и никотин вызывают нарушения (мутации) генов, угнетают дыхание клеток. Каждая сигарета матери на 10 % снижает снабжение ребенка кислородом. При нехватке кислорода в клетках организма заметно снижается интенсивность деления: в растущих органах и тканях формируется недостаточное количество клеток, необходимых для нормальной жизнедеятельности. Особенно чувствительны к недостатку кислорода клетки нервной системы и больших полушарий мозга.

В постэмбриональный период защитные системы еще не закончили свое формирование, и организм также подвержен опасному воздействию алкоголя, никотина и наркотиков. Их употребление подростками препятствует выявлению творческих способностей в годы юности, наиболее благоприятные для развития. Неумеренное винопитие и другие излишества, искажающие в человеке образ Божий, всегда считались Православной церковью немалым грехом (1 Кор. 6,10).



1. Чем различаются три типа онтогенеза?
2. Для чего необходимы стадии личинки, куколки?
3. В чем основное биологическое предназначение метаморфоза?
4. Каким образом строение личинок может свидетельствовать о едином плане Творца?
5. Что называют чередованием поколений в жизненном цикле?
6. Почему влияние никотина, алкоголя и наркотиков особенно сильно сказывается на растущем организме?



Организменный уровень
Раздел III
Основы генетики и селекции

Глава 6. ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАСЛЕДОВАНИЯ ПРИЗНАКОВ

Люди с давних пор интересовались причинами сходства и различия родителей и детей. Почему одни качества родителей дети наследуют, а другие — нет? Можно ли вывести сорт черных тюльпанов? Разрешить большинство подобных вопросов и понять закономерности наследования признаков удалось лишь с развитием генетики (<греч. genesis происхождение), разработкой методов генетического анализа (гибридологического, цитогенетического, биохимического, близнецового и т. д.). Исследованиям помогло и появление сложных приборов, позволяющих исследовать молекулярные основы жизни — нуклеиновые кислоты и белки.

Генетика — наука о наследственности и изменчивости живых организмов. Под *наследственностью* понимается способность родителей передавать потомству особенности своего строения и развития (онтогенеза). *Наследственность — фундаментальное свойство живых организмов, позволяющее животным или растениям сохранять свой вид в бесчисленных поколениях.*

Видоспецифичность особей записана на языке нуклеотидов в молекулах ДНК. Развитие организма начинается с зиготы, содержащей гены как отца, так и матери. *Какие из этих генов будут проявляться более активно, а какие менее, зависит от их взаимодействия с другими генами и условий среды.* Набор генов организма называют его *генотипом*, а совокупность внешних и внутренних (вплоть до строения молекул) признаков — *фенотипом*. Фенотип определяется генотипом и внешней средой.

Гены несут не сами признаки, а только информацию о них. По одним признакам потомство оказывается похожим на родителей, а по другим отличается от них. Разнообразие признаков и свойств у особей одного вида называют *изменчивостью*. Изменчивость присуща всем живым организмам. Различают наследственную и ненаследственную изменчивости.

Наследственная изменчивость вызвана изменениями в геноме особи, ненаследственная — влиянием факторов среды. Внутривидовое разнообразие особей имеет не только эстетическое значение. Изменчивость позволяет организмам приспосабливаться к различным климатическим условиям и особенностям пищи.

Основоположником современной генетики по праву считается выдающийся чешский исследователь, священник и настоятель монастыря Грегор Мендель. Блестящее математическое образование, которое он получил в Венском университете, позволило ему спланировать и провести исследования, прояснившие суть явлений наследственности. Работа Г. Менделя «Опыты над растительными гибридами» опубликована в 1866 г., ее выводы отличаются математической точностью и глубиной. Исследования Г. Менделя на несколько десятков лет опередили свое время, не получив достойной оценки современников. Тогда не было ничего известно не только о хромосомах, но и о роли клеточного ядра. Митоз был открыт Э. Страсбургером только в 1876 г.; спустя одиннадцать лет Э. ван Бенеден описал мейоз, и А. Вейсман высказал предположение о том, что половые клетки несут вдвое меньший набор хромосом, чем соматические. Лишь в 1900 г. три биолога Г. де Фриз в Голландии, К. Корренс в Германии и Э. Чермак в Австрии независимо друг от друга заново открыли закономерности наследственности и изменчивости, сформулированные Г. Менделем, и, признав его приоритет, назвали их законами Менделя. С этого момента начинается бурное развитие генетики.

§ 24. Моногибридное скрещивание. Первый и второй законы Менделя

Методы исследования современной генетики очень разнообразны, но центральным среди них является метод *гибридологического анализа* (<лат. hybrida помесь), разработанный Менделем и положенный им в основу своих исследований. Суть его состоит в определенной системе скрещиваний (гибридизации) особей в ряду последовательных поколений, которая позволяет выявить закономерности наследования отдельных признаков. Выдающихся результатов Менделю удалось добиться по ряду причин:

1. Он первым понял, что начать надо с самого простого — изучить закономерности наследования одного единственного признака, а потом последовательно усложнять задачу. В таком подходе сказалась строгая математичность его мышления. В то время как все предшествующие исследователи пытались рассматривать наследственность в целом, Мендель стал изучать наследование одиночных взаимоисключающих (альтернативных)

признаков, таких, например, как желтый или зеленый цвет семян, длинные или короткие стебли. Скрещивание родительских форм, различающихся только по одной паре взаимоисключающих признаков, называют *моногибридным*.

2. Для проведения исследований Мендель удачно выбрал растение (горох), имеющее целый ряд линий с четко выраженными наследственными признаками. Есть формы с желтыми или зелеными семядолями, с гладкой или морщинистой поверхностью семян, пазушными или верхушечными цветками и т. д.

Кроме того, горох является самоопыляющимся растением, что позволяет поддерживать генетическую однородность линий в ряду поколений.

3. Для скрещивания Мендель выделял так называемые *чистые линии* гороха. Чистые линии получают путем последовательных самоопылений в ряду поколений и отбора растений с нужным признаком. Потомки чистых линий однородны, т. е. одинаковы по наследуемому признаку.

4. Мендель не ограничился анализом одного поколения потомков, а изучал несколько поколений.

5. Мендель вел точный количественный учет каждой пары альтернативных признаков в ряду поколений. Математическая обработка позволила выявить статистические закономерности.

Первый закон Менделя. Единообразие гибридов первого поколения. Для моногибридного скрещивания Мендель взял чистые линии гороха, различающиеся цветом семян (горошин), и провел перекрестное опыление. Для этого он, предварительно удалив на цветках одних растений тычинки, с помощью кисточки поместил на пестики пыльцу с тычинок других растений. После этого каждый цветок накрывался колпачком, чтобы исключить попадание другой пыльцы.

В то время как родительские формы — их обозначают P (<лат. parens родитель) — имели семена желтого и зеленого цвета, все растения первого поколения гибридов F_1 (<лат. filii дети) оказались с желтыми семенами. Явление преобладания признака одного из родителей Мендель назвал *доминированием* (<лат. dominans господствующий), а преобладающий признак — *доминантным*. Аналогично при других скрещиваниях гладкая форма семян доминировала над морщинистой, а пазушное расположение цветков — над верхушечным. Признак второго родителя подавлялся доминантным признаком, поэтому и был назван *рецессивным* (<лат. recessus отступление).

Полученная при моногибридном скрещивании закономерность названа *первым законом Менделя*: *при скрещивании двух организмов из разных чистых линий, отличающихся по одной паре альтернативных признаков, все первое поколение гибридов окажется единообразным и будет нести признак одного из родителей.*

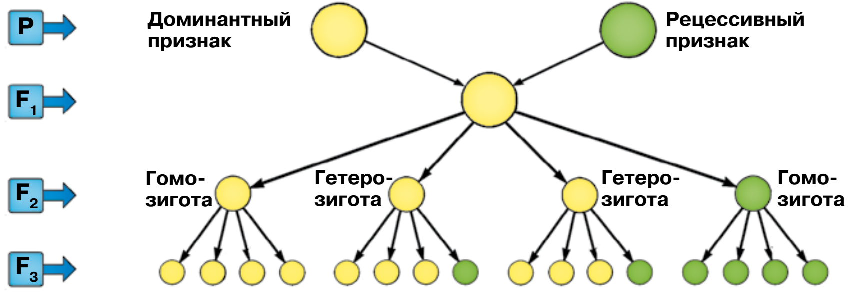


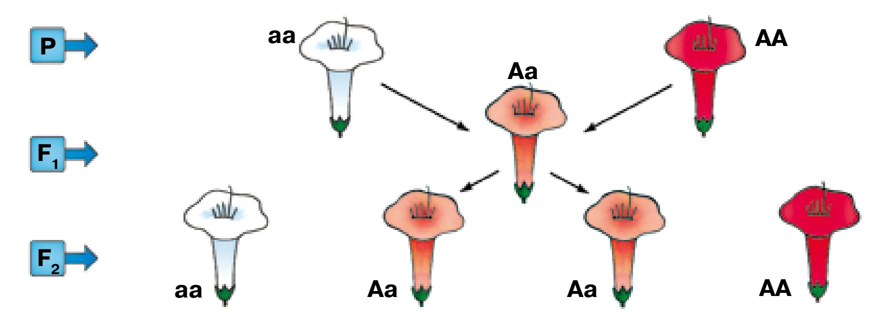
Схема моногибридного скрещивания у гороха

Позднее генетики установили, что явление доминирования широко распространено при наследовании признаков у всех животных, растений и грибов.

Второй закон Менделя. Расщепление признаков во втором поколении. Для исследования свойств гибридов первого поколения Мендель уже не подвергал их перекрестному опылению. Для того чтобы выявить скрытые качества каждой особи в отдельности, он размножил их обычным для гороха способом — самоопылением. Во втором поколении гибридов (F_2) 3/4 растений имели желтые семена, а 1/4 — зеленые. В разделении второго поколения гибридов по признакам и заключается *второй закон Менделя: гибриды первого поколения при размножении расщепляются, в их потомстве четверть составляют особи с рецессивным признаком, а три четверти — с доминантным.*

Рецессивный признак среди гибридов в F_1 не исчезает, а только подавляется, с тем чтобы вновь проявиться при расщеплении в F_2. Это значит, что существует материальный носитель этого признака. Таким образом, из закономерностей расщепления, обнаруженных Менделем, следует основополагающий вывод: в организмах существуют дискретные материальные носители наследственной информации; Мендель называл их факторами, или задатками. Впоследствии эти факторы были названы генами.

Гомозиготные и гетерозиготные особи. Для того чтобы выяснить, какие признаки будут проявляться у гибридов далее, Мендель продолжил самоопыление для получения последующих поколений (F_3, F_4...). В результате проявились определенные закономерности. Выяснилось, что половина растений второго поколения (1/4 с доминантным и 1/4 с рецессивным признаком) далее не расщеплялась. Другая половина особей вела себя точно так же, как и гибриды первого поколения: их потомство расщеплялось в соотношении 3 : 1. Рецессивный признак, однажды появившись, при самоопылении больше не исчезал.



Моногибридное скрещивание у растения ночная красавица

Те особи, которые не обнаруживали расщепления в потомстве, были позднее названы *гомозиготными* (<греч. homos равный) по данному признаку. Растения, в потомстве которых происходило расщепление, получили название *гетерозиготных* (<греч. heteros другой). Во втором поколении гибридов (F_2) гомозиготных и гетерозиготных особей оказалось поровну.

Неполное доминирование. У некоторых организмов первое поколение гибридов хотя и единообразно, но значительно отличается от каждого из родителей. Проявление признака носит у них промежуточный характер между доминантным и рецессивным. В этом случае говорят о неполном доминировании. Так, при скрещивании земляники из чистых линий с красными и белыми плодами получаются растения с розовыми плодами. Аналогичное скрещивание особей растения ночная красавица с белыми и красными цветками дает гибриды с розовыми цветками. Во втором поколении наблюдается расщепление в соотношении 1 : 2 : 1, половина цветков оказывается розовыми, остальные — белыми и красными в равных пропорциях.

Неполное доминирование наследственных признаков было обнаружено при исследовании многих животных. При скрещивании крупного рогатого скота красной и белой масти гибриды имеют промежуточную чалую окраску. Поскольку доминирование бывает неполным, первый закон Менделя называют чаще не законом доминирования, а *законом единообразия гибридов первого поколения.*



1. Что изучает генетика? Что называют наследственной изменчивостью?
2. Чем генотип отличается от фенотипа, доминантный признак от рецессивного, гомозигота от гетерозиготы?
3. Охарактеризуйте гибридологический метод исследования. Почему Мендель начал с моногибридного скрещивания?
4. Сформулируйте первый и второй законы Менделя.
5. Перечислите закономерности неполного доминирования.

§ 25. Цитологические основы закономерностей наследования

Цитологические основы законов Менделя. Установив факт дискретного наследования признаков, Мендель пришел к выводу, что за каждый признак отвечает отдельный наследственный фактор (теперь мы знаем, что это ген). Далее он заключил, что наследственные факторы не смешиваются, пребывая неизменными (по терминологии Менделя — чистыми) и проявляясь в том или ином поколении. Когда Мендель занимался исследованиями, ему ничего не было известно о митозе и созревании гамет в мейозе. Благодаря дальнейшим успехам науки законы Менделя получили цитологическое объяснение.

Гены, соответствующие альтернативным признакам, называют *аллельными*. Эти гены являются вариантами (*аллелями*) одного и того же гена. Один, к примеру, придает цветкам красную окраску, а другой — белую. В соматической клетке содержатся два аллеля гена, в каждой гомологичной хромосоме по одному аллелю. Образующиеся в мейозе половые клетки включают только один из аллелей, поскольку хромосомы половых клеток не имеют гомологов: их набор одинарный. А значит, независимо от того, какие гены имеются в хромосомах особи, доминантные или рецессивные, в гамете будет только один из них. В этом и заключается *принцип чистоты гамет*.

При оплодотворении парность генов восстанавливается, и в зиготе возникают различные комбинации аллелей. Далее хромосомы удваиваются путем репликации ДНК, и клетки приступают к размножению посредством митоза, воспроизводящего хромосомный набор зиготы. В результате весь организм наследует комбинацию аллелей, полученную при слиянии гамет. Таким образом, проявление признака в потомстве зависит от сочетания аллельных генов родительских особей в зиготе.

Гены доминантного и рецессивного признаков Мендель обозначил *A* и *a*, скрещивание — символом умножения ×. При скрещивании чистых линий *AA* и *aa* гаметы (*G*) каждой особи будут только одного сорта, поэтому все гибриды F_1 будут однородными, а в F_2 будет расщепление (сравните с рис. на с. 111):

P	***AA***	×	***aa***	
G	***A***		***a***	
F_1		***Aa***		— *единообразие гибридов первого поколения*
G_1		***A, a***		
F_2	***AA, Aa, aA, aa***			— *расщепление во втором поколении*

Таким образом, гетерозиготные особи содержат оба аллельных гена, а гомозиготные — только одинаковые аллели (либо

Признаки	Доминантные	Рецессивные
Окраска семян	Желтые семядоли	Зеленые семядоли
Форма семян	Гладкие	Морщинистые
Окраска стручка	Зеленая	Желтая
Форма стручка	Простая, без перетяжек	Членистая
Положение цветков	Пазушные	Верхушечные
Высота растения	Высокое	Низкое

Признаки гороха, наследование которых изучал Мендель

доминантные, либо рецессивные). Если гетерозиготные особи по исследуемому признаку *Aa* и *aA* (*Aa* и *aA* — одно и то же, только в одном случае от «мамы» достается *a*, а от «папы» *A*, в другом — наоборот) не отличаются от гомозиготных *AA* (формы гороха *Aa* и *AA* имеют желтые семена), то возможные сочетания аллелей *AA*, *Aa*, *aA*, *aa* дают соотношение 3 : 1.

Если же гетерозиготные и гомозиготные особи различаются, то доминирование будет неполным, а расщепления по генотипу и фенотипу совпадут — 1 : 2 : 1.

При самоопылении или скрещивании с себе подобными гомозиготные особи *AA* и *aa* не дадут расщепления в потомстве, а гетерозиготные будут расщепляться.

Статистический характер закономерностей наследования. В одном из исследований Менделя 6022 особи гороха имели желтые семена, а 2001 особь — зеленые. Как мы видим, соотношение 3:1 лишь приблизительное. Мендель заметил, что чем больше потомков образуется при скрещивании, тем ближе соотношение оказывается к расчетному. Поэтому он особенно подчеркивал среднестатистический характер открытых им законов.

Точно так же при бросании кубика среднестатистическое выпадание каждой цифры будет одинаковым, но, бросив лишь несколько раз, можно получить одну из цифр дважды, а другую не получить ни разу. Случайные сочетания гамет при скрещивании аналогичны случайным выпаданиям кубика. Именно случайность встречи гамет при оплодотворении определяет статистический характер закономерностей наследования.

Для соответствия расчетов с наблюдаемым расщеплением помимо учета большого количества скрещиваний необходимо выполнение следующих условий. Исходные растения должны быть строго одинаковыми, мейоз должен протекать идеально и давать все теоретически возможные виды гамет в равных количествах, гаметы должны иметь равную жизнеспособность, вероятность встречи разных гамет должна быть одинаковой, и, наконец, все зиготы должны иметь одинаковую жизнеспособность. Если какие-то из этих требований не выполняются, то, конечно же, возникнут и отклонения от расчетных значений.

Из анализа моногибридного скрещивания следуют важные выводы:

— существуют дискретные носители наследственной информации, которые в настоящее время называют генами;

— в соматических клетках гены представлены парами (аллелями);

— в гаметы попадает только один из каждой пары аллелей случайным образом;

— слияние гамет при оплодотворении также происходит случайным образом, при этом парность аллелей восстанавливается.

Таким образом, цитологической основой менделевских законов наследования является мейоз.



1. В чем суть принципа чистоты гамет?
2. Докажите правильность законов Менделя.
3. С какой фазой мейоза связано расщепление признаков?

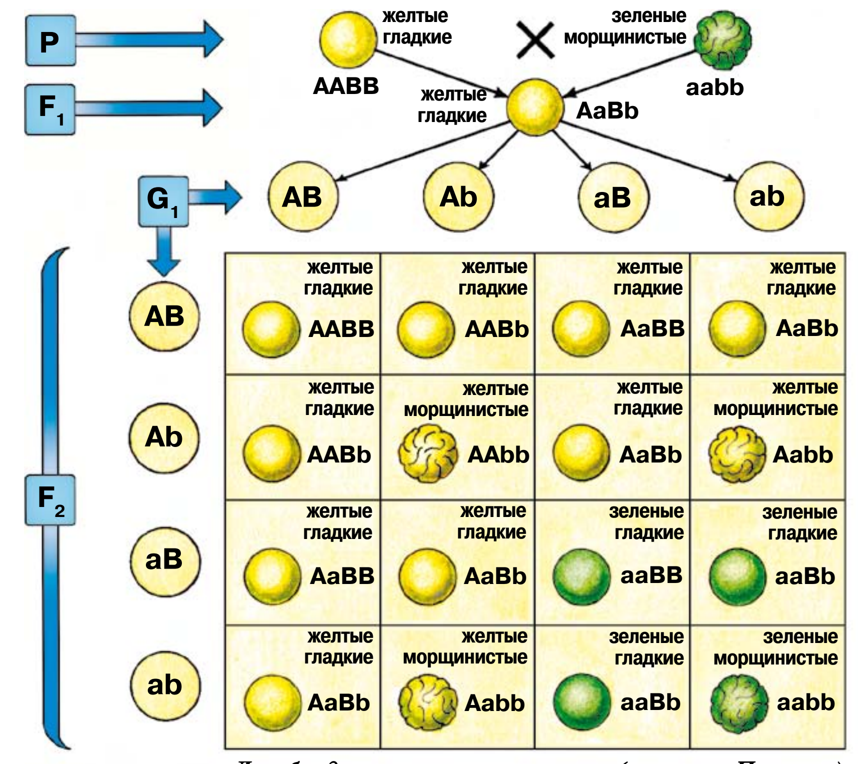
§ 26. Дигибридное скрещивание. Третий закон Менделя

При анализе моногибридного скрещивания Мендель рассматривал только один признак. Поскольку обычно растения различаются большим количеством признаков, для дальнейшего изучения закономерностей наследования Мендель стал рассматривать наследование одновременно двух признаков. Скрещивание между родительскими формами, различающимися по двум парам признаков, называют *дигибридным*. В одном из опытов Менделя один родитель нес доминантные гены (*AA* — желтый цвет и *BB* — гладкая форма семян), а другой — рецессивные (*aa* — зеленый цвет и *bb* — морщинистая форма семян).

Все первое поколение оказалось единообразным с доминированием гладких семян желтой окраски. Объясняется это следующим образом. Поскольку исходные особи гомозиготны, то гаметы каждого родителя были только одного сорта, поэтому все гибриды первого поколения имели одинаковый генотип и соответственно фенотип. Все гибриды F_1 оказались дигетерозиготами по обеим парам признаков (*AaBb*) с полным доминированием:

P	***AABB***	×	***aabb***
G	***AB***		***ab***
F_1		***AaBb***	

После самоопыления (*AaBb*×*AaBb*) в F_2 возникло расщепление. Потомство разделилось по признакам окраски и формы семян на четыре фенотипических класса в соотношении



Дигибридное скрещивание гороха (решетка Пеннета)

9 (желтые гладкие) : 3 (желтые морщинистые) : 3 (зеленые гладкие) : 1 (зеленые морщинистые).

В чем причина столь сложного расщепления? Дело в том, что гаметы вследствие случайности и равновероятности соединения в процессе оплодотворения дают 16 возможных комбинаций. Их удобно проследить с помощью решетки Пеннета, учитывающей все возможные комбинации гамет. Гаметы в решетке расположены по вертикали и горизонтали, а комбинации (зиготы) — на их пересечении. Решетка симметрична относительно диагонали, поэтому многие генотипы повторяются. Число возможных генотипов — 9, а фенотипов — только 4 (желтые гладкие, желтые морщинистые, зеленые гладкие и зеленые морщинистые), часть фенотипически одинаковых особей имеет разные генотипы.

В случае неполного доминирования число фенотипов будет равно числу генотипов, поскольку каждому генотипу будет соответствовать индивидуальный фенотип.

Сходные результаты дает дигибридное скрещивание сиамской и ангорской пород кошек. Черная окраска доминирует над сиамской, а гладкая шерсть — над мохнатой. В ряду поколений



Дигибридное скрещивание сиамской и ангорской пород кошек

наблюдается единообразие гибридов первого поколения и расщепление во втором поколении в соотношении 9 : 3 : 3 : 1.

Третий закон Менделя. Независимое наследование признаков. У одних и тех же растений соотношение (см. решетку Пеннета) между количеством желтых и зеленых семян 12 : 4 = 3 : 1, между количеством гладких и морщинистых семян — тоже 3 : 1, как и при моногибридном скрещивании. При этом форма семян может быть любой независимо от их цвета, а также и цвет — любым, независимо от формы. Следовательно, наследование по признаку цвета никак не влияет на наследование по признаку формы семян, и дигибридное скрещивание представляет собой два независимых моногибридных скрещивания. В этом состоит *третий закон Менделя: расщепление по каждой паре признаков происходит независимо от других пар признаков.*

При независимом наследовании признаков каждый из четырех сортов гамет образуется с равной вероятностью, в равных долях (1/4), именно поэтому мы и имеем соотношение 9 : 3 : 3 : 1 (9/16 : 3/16 : 3/16 : 1/16, 16 — число возможных фенотипов в решетке Пеннета). Существует простое правило для запоминания этой пропорции: (3 : 1) × (3 : 1) = 9 : 3 : 3 : 1.

С открытием мейоза стало понятно, что третий закон Менделя справедлив только в случае, если гены исследуемых пар признаков находятся в разных негомологичных хромосомах. Только тогда они могут расходиться в разные гаметы и наследоваться отдельно. Запишем скрещивание так, чтобы было очевидно расположение генов в хромосомах (обозначены линиями):

P $\frac{A\ B}{A\ B}$ × $\frac{a\ b}{a\ b}$

$\underline{A\ B}$ $\underline{a\ b}$

F₁ $\frac{A\ B}{a\ b}$

$\underline{A\ B}$ — ген A и ген B лежат в одной хромосоме

Анализирующее скрещивание. Разработанный Менделем метод гибридологического анализа позволяет выяснить гетерозиготность особи, скрытую в ее доминантном фенотипе. Для этого скрещивают анализируемую особь с другой, имеющей рецессивный фенотип, чтобы на фоне ее рецессивных генов проявились все гены анализируемой особи. Если анализируемая особь гомозиготна, то в потомстве (F_a) расщепления не произойдет.

P	AA	×	aa
G	A		a
F_a		Aa	

Если же она гетерозиготна, то в потомстве произойдет расщепление на два фенотипа в соотношении 1 : 1.

P	Aa	×	aa
G	A, a		a
F_a		Aa, aa	

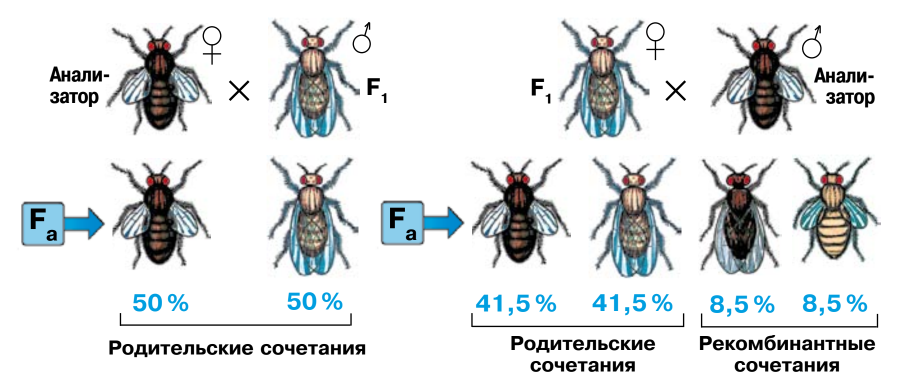
В случае, если анализируемая особь гетерозиготна по двум генам, результаты, в соответствии с третьим законом Менделя, оказываются аналогичными — в потомстве произойдет расщепление в соотношении 1 : 1 : 1 : 1. Если она гомозиготна — потомство будет единообразным.



1. Какое скрещивание называют дигибридным?
2. Объясните, как происходит расщепление признаков при полном и неполном доминировании.
3. Сформулируйте третий закон Менделя. Когда он справедлив?
4. Докажите, что анализирующее скрещивание выявляет генотип.

§ 27. Хромосомная теория наследственности. Сцепленное наследование генов

В своих опытах Мендель изучил наследование семи пар признаков у гороха. Позже многие другие ученые, исследуя закономерности наследования самых разнообразных признаков животных и растений, подтвердили законы Менделя и признали их всеобщность. Вместе с тем обнаружились и определенные отклонения. В исследованиях У. Бэтсона и Р. Пеннета (1906 г.) удлиненная форма пыльцевых зерен и пурпурные цветки душистого горошка явно предпочитали наследоваться совместно. Это естественно, поскольку количество генов значительно превосходит количество хромосом. Гены, которые расположены в одной хромосоме, наследуются совместно (сцепленно).



Опыты Моргана. Появление родительских и рекомбинантных сочетаний генов в потомстве анализирующего скрещивания у дрозофилы

Предположим, что особь имеет два гена *A* и *B* в одной хромосоме и является гетерозиготной по этим генам. Тогда гомологичная хромосома будет содержать гены *a* и *b*. Гаметы такой особи будут не всех четырех возможных типов (в каждой по одному аллелю любого из генов), а только двух. Проведем анализирующее скрещивание:

$$P \quad \frac{A\ B}{a\ b} \quad \times \quad \frac{a\ b}{a\ b}$$

$$G \quad \underline{A\ B} \quad \underline{a\ b} \qquad\qquad \underline{a\ b}$$

$$F_a \quad \frac{A\ B}{a\ b} \quad \frac{a\ b}{a\ b}$$

Две комбинации гамет обеспечат расщепление признака только на два фенотипа в соотношении 1 : 1 вместо ожидаемого расщепления на четыре фенотипа (1 : 1 : 1 : 1).

Закономерности наследования генов, находящихся в одной хромосоме, изучены американским генетиком Т. Морганом и его учениками. Объектом их исследований была плодовая мушка дрозофила. Эта муха характеризуется высокой плодовитостью, необходимой для статистики, и коротким циклом развития. Если горох, изучавшийся Менделем, дает одно поколение в год, то у дрозофил за год можно получить 36 поколений. Кроме того, дрозофила имеет достаточно простой для анализа набор хромосом — всего четыре пары в диплоидном наборе.

Морган установил, что гены, локализованные в одной хромосоме, оказываются сцепленными. Если скрещивалась муха с серым телом и нормальными крыльями с особью, имеющей черное тело и зачаточные крылья, то первое поколение гибридов давало единообразие. Все мухи F_1 были серыми с нормальными крыльями, то есть оказались дигетерозиготными по двум парам аллелей. Далее проводилось анализирующее скрещивание сам-

цов F_1 с самками, имеющими рецессивные признаки по этим аллелям (черное тело и зачаточные крылья). В результате в потомстве наблюдалось расщепление только на два фенотипических класса с родительскими сочетаниями аллелей, в соотношении 1 : 1, что указывало на полное сцепление генов.

Количество групп сцепленных генов оказалось равным числу пар гомологичных хромосом. Этот факт позволил Моргану предположить, что сцепление генов связано с нахождением их в одной хромосоме. Таким образом, Морган и его ученики открыли *явление сцепленного наследования генов, локализованных в одной хромосоме*.

Далее обнаружился интересный факт. Если из первого поколения гибридов дрозофилы для анализирующего скрещивания брали не самца, а самку, то происходило иное расщепление. С одной стороны, появлялись четыре фенотипа, как и для генов, лежащих в разных хромосомах, с другой — особей с родительскими сочетаниями признаков оказалось значительно больше (83 %), чем особей с перекомбинированными признаками (17 %). Это свидетельствовало о том, что родительские гены сцеплены и не могут свободно перекомбинироваться. Однако сцепление оказалось неполным. Каким же образом некоторые гены разъединились?

Вспомним мейоз. В профазе первого деления гомологичные хромосомы «пристегиваются» друг к другу и конъюгируют. В результате кроссинговера происходит обмен участками (перекрест) между несестринскими хроматидами, и сцепленные гены оказываются в разных хромосомах. Обнаружение Морганом неполного сцепления позволило предположить, что во время конъюгации между гомологичными хромосомами происходит обмен идентичными участками. Позднее предположение подтвердилось прямыми наблюдениями. Сцепление генов проявляется как отклонение от соотношения 1 : 1 : 1 : 1 при дигибридном анализирующем скрещивании.

Почему же Морган сначала получил только результат, свидетельствующий о полном сцеплении генов? Оказалось, что у самцов дрозофилы кроссинговер отсутствует.

Исследования показали, что процент особей с перекомбинированными признаками (кроссоверных) для каждой пары генов постоянен. Этот результат в сочетании с некоторыми другими данными привел Моргана к мысли о том, что гены представляют собой определенные линейно расположенные участки хромосом. Если гены находятся на разных концах хромосомы, то любой перекрест приведет к их перекомбинации.

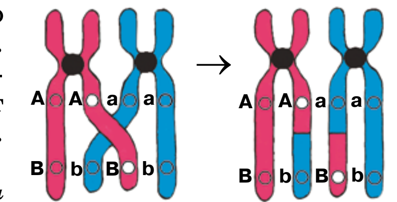
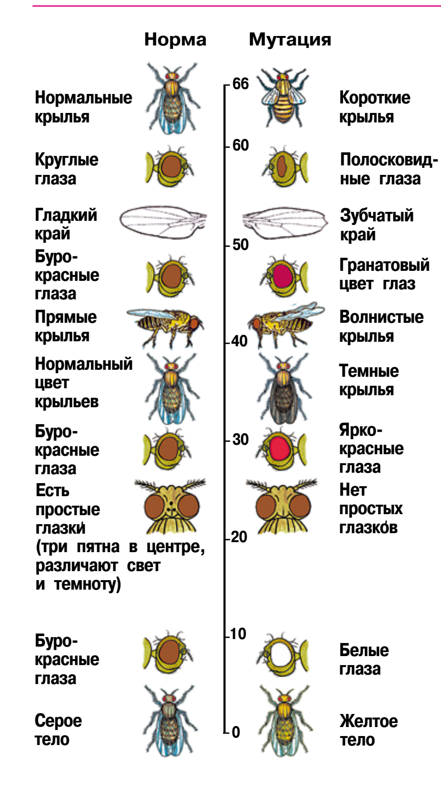


Схема кроссинговера



Карта Х-хромосомы дрозофилы

Такие гены зачастую наследуются почти так же независимо, как и гены разных хромосом. Если же гены расположены рядом, то вероятность их разъединения в процессе кроссинговера существенно уменьшается. Эта закономерность позволила построить карты хромосом хорошо изученных групп организмов. На этих картах расстояние между генами указано в процентах перекрестов, приводящих к разъединению генов.

Современная хромосомная теория включает следующие два положения:

1. Гены контролируют признаки и являются носителями наследственной информации.

2. Гены расположены в хромосомах, причем в линейном порядке.

Дополним эти положения следующими важными для запоминания сведениями:

3. В паре гомологичных хромосом каждая содержит один из аллелей гена. Аллели расположены в идентичных участках (локусах) хромосом.

3. Негомологичные хромосомы различаются набором генов.

4. Каждый биологический вид имеет определенный набор хромосом — кариотип.

5. Гены, локализованные в одной хромосоме, образуют группу сцепления. Число групп сцепления равно числу хромосом в гаплоидном наборе.

6. После конъюгации происходит обмен участками гомологичных хромосом — кроссинговер, приводящий к перекомбинации генов. Вероятность разъединения генов в результате кроссинговера пропорциональна расстоянию между ними в хромосоме.



1. Что называют сцепленным наследованием?
2. Как Моргану удалось обнаружить сцепление?
3. Какой факт позволил предположить, что сцепленные гены находятся в одной хромосоме?
4. Какой факт указал на происходящий в мейозе кроссинговер?

§ 28. Генетика пола

Хромосомное определение пола. Чтобы выяснить, чем определяется пол, рассмотрим кариотипы некоторых организмов. У самок и самцов большинства существ кариотипы несколько различаются. Например, у дрозофилы 4 пары хромосом. Из них 3 пары у самок и самцов — одинаковые; их назвали *аутосомами*. По паре так называемых *половых хромосом* самки и самцы различаются. У самки в этой паре две палочковидные хромосомы, обозначаемые как *X*-хромосомы. У самца в этой паре одна *X*-хромосома, а другая — сильно изогнутая *Y*-хромосома. Она присутствует только у самца и не имеет пары (гомолога). Половые хромосомы, кроме генов, определяющих признаки пола, содержат и другие гены, не имеющие отношения к полу.

Для того чтобы понять, каким образом в природе поддерживается равное соотношение полов, рассмотрим мейоз и слияние гамет на примере дрозофилы. При созревании половых клеток в мейозе гаметы получают гаплоидный (одинарный) набор хромосом. В диплоидном наборе самки все хромосомы парные, а значит, все ее гаметы будут иметь одинаковый набор хромосом. Другое дело у самца: в любой его соматической клетке *X*- и *Y*-хромосомы присутствуют в единственном экземпляре. После расхождения в мейозе половина гамет будет содержать *X*-хромосому, а другая — *Y*-хромосому, а следовательно, в потомстве с равной вероятностью будут рождаться мужские и женские особи. Таким образом, *пол организма определяется в момент слияния гамет и зависит от хромосомного набора зиготы.*

У человека в диплоидном наборе 46 хромосом (23 пары). Из них 44 — аутосомы, а две — половые. У женщин это две *X*-хромосомы, а у мужчин — одна *X*- и одна *Y*-хромосома. Женский пол человека и дрозофилы, как и многих других организмов, определяется парой одинаковых хромосом *XX*, а мужской — двумя непарными хромосомами *XY*. Женский пол в этом случае называют гомогаметным, а мужской — гетерогаметным. У некоторых существ наоборот: женский пол гетерогаметен,

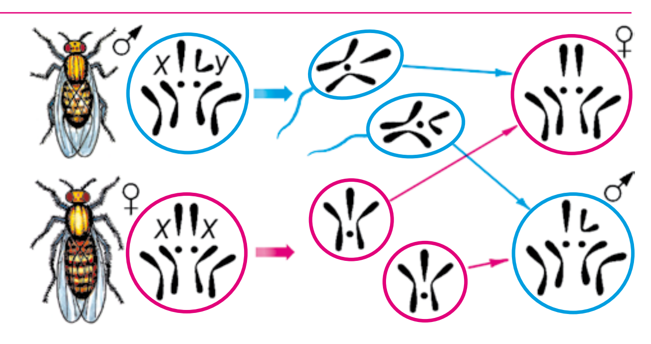


Схема расщепления по признаку пола у дрозофилы

а мужской — гомогаметен. Такую особенность имеют бабочки, пресмыкающиеся и птицы. Кариотип петуха — XX, курицы — XY. Все мужские гаметы таких организмов содержат только X-хромосому, а пол эмбриона определяется тем, какая яйцеклетка из двух типов будет оплодотворена — с X- или Y-хромосомой.

Кузнечики и ряд других насекомых не имеют Y-хромосомы. У них половина гамет самца (кариотип $X0$) не содержит ни одной половой хромосомы, а только аутосомы. При слиянии таких гамет с яйцеклеткой образуется организм, кариотип которого также имеет только одну половую хромосому, то есть самец.

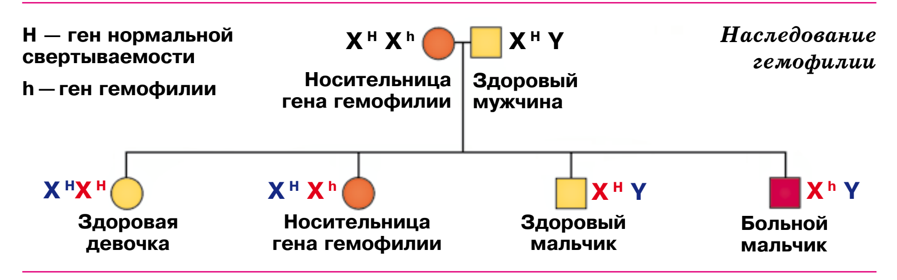
У небольшого количества существ (например, дафний) пол может определяться не хромосомным набором, а внешними условиями. В летний сезон дафнии размножаются партеногенетически (без участия самцов), и в благоприятных условиях рождаются самки. При возникновении неблагоприятных факторов в потомстве появляются самцы. Особи некоторых видов рыб, ракообразных, брюхоногих моллюсков и многощетинковых червей меняют пол с возрастом. Чаще самцы с увеличением размеров становятся самками, но бывает и наоборот.

Наследование признаков, сцепленных с полом. Если гены, отвечающие за признак, находятся в аутосомах, то наследование признака никак не связано с полом. Его могут наследовать как мужские, так и женские особи. Но если эти гены — в половых хромосомах, то ситуация резко меняется. Для примера рассмотрим наследование черепаховой окраски у кошек с характерным чередованием рыжих и черных пятен. В соматической клетке любого участка тела кошки работает только один ген («рыжий» или «черный»), чередование пятен закладывается случайным образом в эмбриогенезе. Интересно, что котов с черепаховой окраской не бывает. Этот факт оставался непонятным до тех пор, пока не выяснилось, что гены, отвечающие за черепаховую окраску, содержатся в половых X-хромосомах, а в Y-хромосомах отсутствуют. Этот тип наследования носит название *наследования, сцепленного с полом*.

Обозначим ген черной окраски B, содержащую его хромосому — X^B, ген рыжей окраски — b, хромосому — X^b. Гены черной и рыжей окраски аллельные, они расположены в разных гомологичных хромосомах одной пары. Y-хромосомы содержат очень небольшое количество генов, в число которых гены окраски не входят. В зиготе возможны следующие комбинации: $X^B X^B$ — черная кошка, $X^b X^b$ — рыжая кошка, $X^B X^b$ — черепаховая кошка, $X^B Y$ — черный кот, $X^b Y$ — рыжий кот.

Черепаховая кошка





Наследование гемофилии

С полом оказываются сцепленными и некоторые наследственные заболевания, вызванные мутациями генов половых хромосом. Большинство таких нарушений рецессивно, в женской особи они могут проявиться фенотипически только в гомозиготном состоянии, когда оба родителя несут в половых X-хромосомах мутантный аллель. С мужскими особями дело обстоит хуже. Мутантные аллели, даже будучи рецессивными, проявляются в фенотипе, поскольку Y-хромосома содержит очень мало генов и, как правило, не имеет альтернативных аллелей. При этом признаки, находящиеся у матери в скрытой, рецессивной форме, проявляются у мужской особи в виде заболевания.

Так передается тяжелая болезнь гемофилия. Кровь больных практически не свертывается. Даже небольшие царапины и ушибы вызывают длительные кровотечения и внутренние кровоизлияния. Это заболевание обусловлено рецессивным геном X-хромосомы и встречается только у мужчин, гомозиготные по рецессивному аллелю девочки умирают в юном возрасте.

При сочетании женщины, несущей ген гемофилии в рецессивной форме, со здоровым мужчиной половина мальчиков будут больными. Девочки, больные гемофилией, практически не встречаются, поскольку вероятность встречи больного мужчины и женщины, несущей ген гемофилии, чрезвычайно мала. Аналогично наследование дальтонизма (неспособности различать зеленый и красный цвет) сцеплено с полом по X-хромосоме. Мужчин-дальтоников — 4 %, а женщин — менее 1 %.

В редких случаях сцепленное с полом наследование (например, одной из форм рахита) носит доминантный характер и поэтому чаще встречается у женщин, в связи с наличием в их генотипе двух X-хромосом.

У человека примерно 300 генов X-хромосомы отсутствуют в Y-хромосоме. Несколько генов присутствуют в Y-хромосоме, но отсутствуют в X-хромосоме, в этом случае наблюдается наследование от отца к сыну. Такой тип наследования называют *Y-сцепленным голандрическим наследованием*. С Y-хромосомой связано наследование «рыбьей» кожи, перепончатых пальцев, избыточного волосяного покрова на ушах. Именно при

исследовании сцепленного с полом наследования некоторых признаков у дрозофилы факт расположения генов в хромосомах стал очевидным.

Вероятность возникновения наследственных заболеваний резко возрастает при близкородственных браках. Такие браки с древних времен были запрещены Церковью, в большинстве современных государств они запрещены законом.

Познание закономерностей наследования имеет и хозяйственное значение. Давно было известно, например, что самцы тутового шелкопряда дают значительно больше шелка, чем самки. Поэтому выгоднее выкармливать только самцов. Но как определить пол особи в яйце? Ученым удалось получить линии шелкопряда, в которых признак черной окраски яиц сцеплен с полом. В промышленном шелководстве сортировка яиц по цвету проводится быстродействующим устройством на конвейере.



1. Каким образом поддерживается равное соотношение полов? Чем определяется пол у различных организмов?
2. Каковы особенности наследования признаков, сцепленных с полом, у мужских и женских особей?
3. Почему не бывает черепаховых котов?
4. Чем опасны близкородственные браки?

§ 29. Генотип как целостная система

Взаимодействие аллелей одного гена бывает трех типов: полное доминирование, неполное доминирование, кодоминирование.

Доминирование. В основе формирования большинства признаков лежат цепи биосинтеза необходимых соединений. Каждый этап биосинтеза осуществляется определенным ферментом, кодируемым своим геном. Рецессивные гены, как правило, являются мутантной формой нормально функционирующих доминантных генов (как говорят, дикого типа). Их функция утрачена либо полностью, либо частично. На фоне функционирования доминантных генов продукция генов рецессивных не проявляется (дефектные ферменты плохо работают). Поэтому когда в генотипе есть нормально функционирующий немутантный ген, он, как правило, доминирует.

Если кодируемого им фермента (например, участвующего в биосинтезе пигмента окраски цветка, см. с. 111) достаточно для полного проявления признака, то доминирование будет полным, в противном случае доминирование будет неполным (гетерозигота *Aa* будет отличаться от гомозиготы *AA*, в которой работают два нормальных гена).

Кодоминирование (<лат. со вместе) — взаимодействие аллелей, при котором каждый из них имеет самостоятельное фенотипическое проявление. Примером кодоминирования может служить наследование трех групп крови человека по системе *MN*. На поверхности эритроцитов, лейкоцитов имеются специальные антигены (молекулы гликолипидов, гликопротеинов, полисахаридов); связываясь с антителами, они образуют иммунные комплексы. Эритроциты с аллелем L^M имеют на поверхности антигены *M*, с аллелем L^N — антигены *N*. В гетерозиготе $L^M L^N$ проявление одного аллеля никак не сказывается на проявлении другого: на поверхности эритроцитов будут оба антигена. Это и есть кодоминирование, одновременное проявление обоих признаков (антиген *M* и антиген *N*). Заметим, что при неполном доминировании у гетерозигот в фенотипе проявляются не оба признака, а некоторый промежуточный.

Система групп крови MN

Группа крови	Генотип	% среди москвичей
M	$L^M L^M$	36
N	$L^N L^N$	16
MN	$L^M L^N$	48

Система групп крови AB0

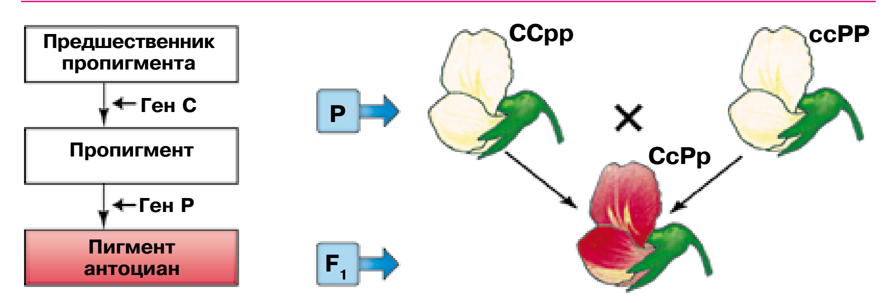
Группа крови	Генотип	% среди европейцев
I(0)	$i^0 i^0$	46
II(A)	$I^A I^A$, $I^A i^0$	42
III(B)	$I^B I^B$, $I^B i^0$	9
IV(AB)	$I^A I^B$	3

Множественный аллелизм. В популяции (большой группе особей одного вида) может быть представлено не два, а несколько аллелей одного гена, определяющих различные проявления одного и того же признака. Так, у человека тремя аллелями одного гена *I* определяется формирование четырех групп крови по системе AB0 («а-бэ-ноль»). Аллель I^A контролирует наличие на поверхности эритроцитов антигена *A*, I^B — антигена *B*, i^0 — отсутствие обоих антигенов. Аллели I^A и I^B проявляют кодоминирование по отношению друг к другу (аналогично L^M и L^N) и полное доминирование по отношению к аллелю i^0 (гетерозиготные особи $I^A i^0$ и $I^B i^0$ содержат антигены *A* или *B*, как и гомозиготные особи $I^A I^A$ и $I^B I^B$).

У кроликов существует серия аллелей по окраске шерсти. Кролики могут быть шиншилловыми (сплошная окраска), гималайскими (белая шерсть и черные кончики лап, ушей, хвоста) и альбиносами. Аллель сплошной окраски доминирует над двумя другими, а аллель гималайской — над аллелем альбинизма. У дрозофилы окраска глаз контролируется серией более чем из 300 мутантных аллелей гена *white(-w)*.

В любой диплоидной клетке могут находиться только два аллеля из серии (по одному в каждой гомологичной хромосоме); следовательно множественный аллелизм является видовым (популяционным), а не индивидуальным признаком.

Взаимодействие аллелей разных генов. В рассмотренных примерах каждый ген определял один признак, и каждому



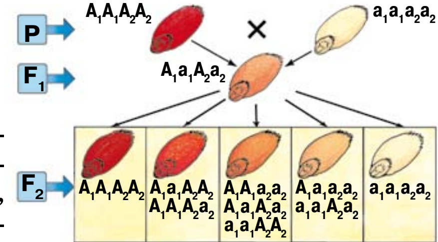
Комплементарность. Наследование окраски цветков душистого горошка

признаку соответствовал один ген. В результате могло сложиться упрощенное понимание генотипа как комплекта отдельных генов, а фенотипа как мозаики отдельных признаков. В живых организмах все биохимические и физиологические процессы взаимосвязаны и согласованы, *генотип представляет собой систему тесно взаимодействующих генов*. Проявление признака обычно находится под контролем сразу нескольких генов, большинство генов определяют проявление сразу нескольких признаков.

Комплементарное взаимодействие (<лат. complementum пополнение) — дополняющее взаимодействие доминантных аллелей разных генов при восстановлении дикого фенотипа. Пурпурная окраска цветка душистого горошка определяется одновременным действием двух доминантных генов *C* и *P*. Ген *C* кодирует фермент, отвечающий за образование пропигмента, а ген *P* — фермент, преобразующий этот пропигмент в антоциановый пигмент пурпурной окраски. При скрещивании двух форм горошка с белыми цветками цветки гибридов первого поколения оказались пурпурными. Произошла комплементация нормально функционирующих доминантных (как говорят, диких) аллелей *C* и *P*.

Эпистаз (<греч. epistasis препятствие) — подавляющий характер взаимодействия разных генов. Плоды тыквы не окрашиваются, если подавляющий ген представлен доминантным аллелем, а белая окраска многих пород кур объясняется наличием в их генотипе доминантного аллеля гена, подавляющего проявление гена пигментации. В этих случаях говорят о *доминантном* эпистазе. Если эпистаз обусловлен действием рецессивных аллелей, то его называют *рецессивным*. Так, окраску кроликов и мышей контролируют два гена, доминантный аллель гена *C* контролирует синтез черного пигмента, аллель *c* — его отсутствие; аллели другого гена *A* и *a* — распределение пигмента по длине волоса (равномерное у черных особей и сосредоточенное к основанию волоса — у серых). Рецессивные гомозиготы *cc* никогда не окрашены, действие гена *A* подавлено и не проявляется.

Полимерия. Наследование окраски зерен пшеницы (по Г. Нильсон-Эле)



Полимерия (<греч. polymeria многомерность) — взаимодействие неаллельных генов, при котором степень выраженности одного и того же признака обусловлена влиянием ряда генов, их действие складывается. Такие *полимерные гены,* как правило, идентичны, т. е. представлены в генотипе несколькими копиями. Полимерные гены отвечают за многие количественные признаки: рост, вес, удои молока, яйценоскость, содержание питательных веществ в семенах растений. Чем больше в генотипе нормально функционирующих доминантных аллелей, определяющих проявление количественного признака, тем ярче этот признак выражен.

За красный цвет зерен пшеницы отвечают два гена A_1 и A_2. При скрещивании краснозерных пшениц с белозерными выяснилось, что растения с генотипом $A_1A_2A_1A_2$ имеют красные зерна, $a_1a_2a_1a_2$ — белые. Другие комбинации имеют промежуточные цвета. Аналогично темный цвет кожи человека определяется количеством в генотипе доминантных неаллельных генов, действующих в одном направлении.

Если действия одного полимерного гена недостаточно для полного проявления признака, говорят о накопительном действии генов — *кумулятивной полимерии* (<лат. cumulatio скопление). Если же для полного проявления признака достаточно действия одного доминантного гена, полимерию называют *некумулятивной*. Например, для того чтобы форма стручков растения пастушья сумка была не овальной, а треугольной, достаточно присутствия в генотипе хотя бы одного из доминантных аллелей двух неаллельных полимерных генов.

Взаимодействие генов обнаруживается как отклонение в F_2 от независимого расщепления 9 : 3 : 3 : 1. В рассмотренных примерах будут следующие расщепления в F_2: комплементарность — 9 : 7; доминантный эпистаз — 13 : 3; рецессивный эпистаз — 9 : 3 : 4; кумулятивная полимерия 1 : 4 : 6 : 4 : 1; некумулятивная полимерия — 15 : 1. Приведенные соотношения справедливы только для несцепленных генов.

Множественное действие генов. Обычно гены определяют целый ряд связанных признаков — обладают множественным, или *плейотропным* (<греч. pleion более многочисленный + tropos направление), действием. Первый пример плейотропии был описан еще Г. Менделем: растения гороха с пурпурными цветками имеют также красные пятна в пазухах листьев и семена

с бурой кожурой. Стебли различных растений с красными цветками обычно тоже красноватого цвета. Ген, вызывающий у них красную окраску лепестков, окрашивает и стебель. У водосбора этот ген определяет еще и фиолетовый оттенок листьев, удлинение стебля, большую массу семян. Ген, отвечающий за отсутствие пигмента в глазах дрозофилы, осветляет окраску тела и изменяет форму некоторых внутренних органов.

Рыжий цвет волос человека сопровождается веснушками и более светлой кожей. За эти признаки также отвечает один ген. Ген, вызывающий у человека серповидно-клеточную анемию, вызывает изменение формы эритроцитов, нарушения в сердечно-сосудистой, нервной, пищеварительной и выделительной системах. У людей известен ген, доминантный аллель которого вызывает синдром Марфана: тонкие и длинные («паучьи») пальцы, нарушенное строение хрусталика и кровеносных сосудов, пороки клапанов сердца. Этот ген контролирует формирование соединительной ткани, и поэтому мутации в нем сказываются сразу на многих признаках.

Причина множественного действия генов заключается в том, что кодируемые ими ферменты участвуют в разных биохимических процессах, происходящих в различных органах и тканях. Многоэтапность и разветвленность метаболических путей приводит к тому, что нарушение фермента, контролирующего проявление одного из признаков, сказывается и на проявлении ряда других признаков.



1. Приведите примеры множественного аллелизма.
2. В чем главное различие рецессивных и доминантных генов?
3. Расскажите о комплементарности и эпистазе.
4. Чем кумулятивная полимерия отличается от некумулятивной?
5. Рассчитайте по решетке Пеннета расщепления в F_2 в рассмотренных примерах комплементарности, эпистаза и полимерии.
6. Чем вызвано множественное действие генов?

§ 30. Цитоплазматическое наследование

Небольшая часть наследственного материала находится только в ДНК органелл, обусловливая так называемое *цитоплазматическое,* или *нехромосомное наследование*. Кольцевые молекулы ДНК митохондрий и пластид воспроизводятся посредством репликации вместе с делением этих органелл и содержат ряд генов.

К числу контролируемых этими генами признаков относится, например, пестролистость у растения ночная красавица. Часть хлоропластов этого растения вследствие нарушений в пластид-

Наследование бесхлорофильных листьев у растения ночная красавица

Все листья потомков зеленые

♂ ♀

Реципрокные скещивания

♀ ♂

Все листья потомков не сдержат хлорофила

ной ДНК теряет способность синтезировать хлорофилл и осуществлять фотосинтез. При митозе хлоропласты попадают в дочерние клетки случайным образом. В результате пестролистые растения имеют зеленые, пестрые (желтовато-белые и зеленые участки) или даже вовсе белые листья, образующие иногда целые побеги, лишенные хлорофилла.

Если цветок бесхлорофильного побега опылить пыльцой зеленого растения, то все растения в F_1 будут бесхлорофильными и, не имея зеленых листьев, вскоре погибнут. Если же пыльцой бесхлорофильного побега опылить цветок зеленого растения, то потомство будет нормальным. Пыльца не содержит цитоплазмы и не передает признак бесхлорофильности — признак наследуется вместе с цитоплазмой от материнского организма. Аналогично бесхлорофильным листьям по материнской линии наследуются у ночной красавицы и пестрые листья.

Нехромосомное наследование обычно выявляют посредством двух описанных нами скрещиваний с противоположным сочетанием пол-признак, называемых *реципрокными* (<лат. reciprocus взаимный) *скрещиваниями*. По причине случайности расхождения пластид в дочерние клетки расщепление признака не укладывается в закономерности, открытые Менделем.

В клетках бактерий часто встречаются так называемые плазмиды — автономно существующие в цитоплазме самореплицирующиеся кольцевые ДНК. Эти небольшие внехромосомные ДНК очень разнообразны и мобильны (могут передаваться в другие клетки). Плазмиды делают бактерии устойчивыми к лекарственным препаратам, вынуждая ученых изобретать все новые антибиотики: бактерии с плазмидами, несущими гены устойчивости, выживают и размножаются в присутствии антибиотиков.



1. Какие гены определяют цитоплазматическое наследование?
2. По каким причинам наследование пестролистости не подчиняется законам Менделя?
3. Как происходит цитоплазматическое наследование признаков, кодируемых внеядерными генами? Приведите примеры.
4. Почему нехромосомное наследование называют материнским?
5. Каким образом плазмиды делают бактерии устойчивыми к лекарственным препаратам?

Глава 7. ИЗМЕНЧИВОСТЬ И ЕЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ

Изменчивостью называют свойство живых организмов существовать в различных формах (вариантах). Эти формы могут передаваться по наследству, а могут и не передаваться. В соответствии с этим различают *наследственную* и *ненаследственную* (*модификационную*) изменчивости.

Наследственную изменчивость разделяют на мутационную (связана с изменением самих генов) и комбинативную (обусловлена возникновением новых комбинаций генов). Под модификационной изменчивостью понимают способность организмов изменять фенотип под влиянием внешней среды. Модификационная изменчивость не связана с изменениями генотипа и по наследству не передается.

Изменчивость — основа разнообразия организмов сотворенного мира, помогающая живым существам приспосабливаться к различным внешним условиям. Изменчивость представляет собой свойство, дополняющее наследственность.

Если наследственность обеспечивает преемственность поколений, то изменчивость делает потомство несколько непохожим на родителей. Гибкая взаимосвязь наследственности и изменчивости сохраняет красоту нашего мира и его разумное многообразие.

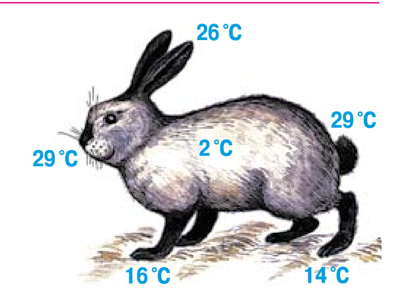
§ 31. Модификационная изменчивость

Живые существа постоянно испытывают на себе воздействие разнообразных внешних факторов. В результате активного влияния среды организмы, имеющие один и тот же генотип, по фенотипу могут существенно отличаться. Многообразие проявлений одного и того же генотипа в различных внешних условиях носит название *модификационной изменчивости*.

Окраска цветов примулы определяется парой аллельных генов *Rr*. Гомозиготы *RR* обычно имеют красные цветки, но если в момент формирования бутонов примулу перенести в теплую (30—35 °С) влажную оранжерею — появляются белые цветки. Возвращение в комнатные условия не меняет их белой окраски, но вновь распускающиеся цветки снова будут красными. Очевидно, у примулы генотип остается неизменным, а меняется только фенотип.

Кролики гималайской окраски, как и альбиносы, рождаются полностью белыми. Но их мордочка, уши, лапы и хвост

Распределение температурных порогов темной окраски у горностаевого (гималайского) кролика



постепенно темнеют. Проявление гена, отвечающего у них за пигментацию, зависит от внешней температуры. В организме матери она высокая, поэтому гималайские кролики (как и сиамские котята) рождаются белыми. В обычных условиях мордочка, уши, лапки и хвост имеют пониженную, в сравнении с основной частью тела, температуру и чернеют.

Если у кролика на боку или на спине сбрить шерсть и содержать животное при температуре ниже 2 °C, то вновь появившаяся шерсть будет черной; если же на этом месте держать согревающий компресс, то шерсть вырастет белой. Аналогичные изменения окраски на ушах кролика происходят при температурном пороге 26 °C. Гомологичные гены гималайской окраски существуют у сиамских кошек и белых мышей. Присутствие этих генов обеспечивает сезонную смену окраски зайца-беляка, горностая, ласки и белой куропатки.

Листья стрелолиста имеют разную форму в воде и на воздухе. Под водой они длинные и тонкие. Плавающие на поверхности листья — почковидные. Надводные листья имеют характерную стреловидную форму. Причиной образования длинных листьев является слабая освещенность. Если посаженный на суше стрелолист затенить, то у него и на воздухе вырастают лентообразные листья. Аналогичным образом модифицируются листья водяного лютика.



Модификационная изменчивость листьев стрелолиста и водяного лютика

Модификационной изменчивостью является и появление загара (накопление пигмента меланина). Ненаследственные изменения проявляют себя как реакция на условия среды. Так, если у вас карие глаза, то они и в Крыму будут карими (наследственный признак) а вот на коже появится загар (ненаследственный признак). Развитие мускулатуры при интенсивных физических нагрузках тоже является модификационной изменчивостью. Организм приспосабливается к выполнению тяжелой работы. Как пигментация кожи, так и развитие мускулатуры имеют индивидуальные особенности, определяемые генотипом.

Модификационные изменения не связаны с изменением генотипа и поэтому не наследуются, потомству передается сама способность к модификациям. Так, в заповеднике Аскания-Нова живут антилопы гну и антилопы канна. У антилоп гну с наступлением холодов вырастает густой подшерсток. У антилоп канна способность к такой модификации отсутствует, они могут зимовать лишь в отапливаемых помещениях.

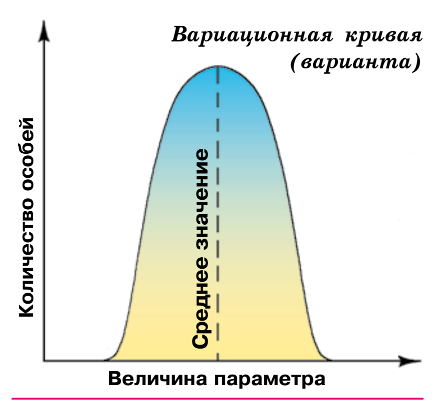
Все основные признаки и свойства организмов наследственно определены, но наследуются не конкретные их проявления, а сама возможность тех или иных форм фенотипа. Иными словами, *генотип реализует в фенотипе наследственную программу развития в соответствии с условиями внешней среды.*

Норма реакции. Признаки организма в разной степени подвержены действию внешних условий. Одни гибки и изменчивы, другие более устойчивы, а третьи почти не изменяются. Удои крупного рогатого скота можно существенно повысить хорошим питанием. Жирность молока меняется при этом не так сильно, она в большей степени зависит от породы, чем от питания. Но еще более устойчивым признаком особи является масть (окраска).

Пределы изменений признака при определенном генотипе называют *нормой реакции*. По одним признакам организм наследует очень широкую норму реакции, по другим — узкую. Таким признакам, как величина сердца и головного мозга, свойственна довольно узкая норма реакции. В то же время толщина жировой прослойки варьируется в широких пределах.

Широкая норма реакции обеспечивает хорошую адаптацию к различным условиям среды и способствует сохранению вида.

Статистический характер модификационной изменчивости. На всей планете невозможно найти два абсолютно одинаковых организма. Этот факт во многом определяется неоднородностью условий среды. Каждый колос на поле вырастает в индивидуальных условиях. На его развитие влияет глубина посева зерна, влажность, освещенность, а также наличие сорняков, насекомых-вредителей и пр. По любому параметру (например, количество зерен в колосе) среди всех колосьев на поле можно выделить как наиболее характерные, так и редко встречающиеся.



Зависимость встречаемости параметра от его величины описывается колоколообразной кривой с максимумом на некотором среднем значении. Эту кривую называют вариационной. Именно так распределены вокруг среднего значения длина и ширина листьев каждого дерева. Чем разнообразнее внешние условия, тем шире диапазон параметров, описываемых вариационной кривой. Ее максимально возможная ширина определяется генотипом и соответствует норме реакции.

Для того чтобы объективно охарактеризовать модификационную изменчивость какого-либо вида животных или растений, изучают большое количество особей в популяции этого вида и строят вариационную кривую.



1. Как возникают модификации?
2. Приведите примеры узкой и широкой нормы реакции.
3. Почему одни люди сильно загорают, а другие — нет, одни способны быстро наращивать мускулатуру, а другим это не удается?
4. Что является объективным показателем модификационной изменчивости биологического вида?

§ 32. Наследственная изменчивость

Модификационные изменения не меняют генотипа и по наследству не передаются. Наряду с модификациями в организмах происходят и более глубокие изменения, изменяющие генотип. Эти изменения передаются потомству и носят название *наследственной изменчивости*.

Набор генов каждого существа можно разделить на *мономорфные* (около 2/3) и *полиморфные* (<греч. polymorphos многообразный) гены.

Мономорфные гены отвечают за наиболее важные, кардинальные жизненные функции, комплекс которых свойствен только данному виду как уникальному образованию. Любые нарушения мономорфных генов пагубно сказываются на жизнеспособности организма. Эти гены не имеют аллелей: для жизнеспособности организмам необходимо присутствие в генотипе двух неповрежденных мутациями мономорфных генов.

Пример мутации — отсутствие оперения





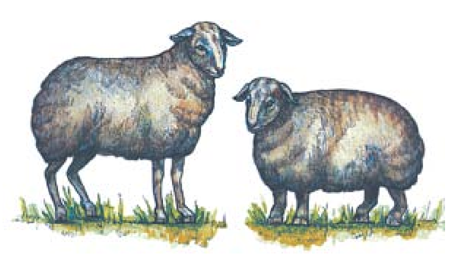
Полиморфные гены — аллельные, они отвечают за менее важные признаки и обеспечивают адаптацию. Так, кодируемые ими длина и цвет шерсти животных могут сильно варьировать. Разные особи одного вида могут иметь разнообразные аллели полиморфных генов (их сочетание при скрещивании и изучали Г. Мендель, Т. Морган), но мономорфная часть генома у них совершенно одинакова. Например, аминокислотный состав ферментов и в особенности их активного центра не может изменяться, поскольку это приводит к потере активности ферментов. Такие изменения, как правило, летальны.

Рассмотрим основные виды наследственной изменчивости.

Комбинативная изменчивость. Этот тип изменчивости характерен только для организмов, размножающихся половым путем. Комбинативная изменчивость является в основном результатом перекомбинирования хромосом в мейозе, значительный вклад вносят также перекомбинации генов в процессе кроссинговера. После оплодотворения в зиготе оказывается новая комбинация генов, а значит, новое сочетание наследственных задатков.

Комбинативная форма изменчивости обеспечивает практически неисчерпаемое разнообразие существ каждого вида (см. расчет возможных вариаций на с. 84), делает особей уникальными и неповторимыми.

Мутационная изменчивость вызвана нарушением генов или хромосом. Эти нарушения называют *мутациями*. В отличие от перекомбинаций, перетасовывающих уже имеющиеся гены, мутации приводят к возникновению новых аллелей генов (рецессивный аллель — это результат мутации). Большинство мутаций вредны и даже опасны. Особи, имеющие мутации, оказываются болезненными, а зачастую и вовсе не жизнеспособными. Но иногда мутации сообщают организму и некоторые полезные свойства. Так, например,



Анконская мутация у овец (коротконогость)

генотип некоторых людей содержит мутантный ген, вызывающий в гомозиготе серповидно-клеточную анемию. Больные погибают в раннем возрасте. Но гетерозиготные носители благодаря этому гену оказываются устойчивыми к малярии.

В гетерозиготе вредное действие мутаций в полиморфных генах обычно не проявляется, ведь большинство мутаций рецессивны: мутантные аллели имеют дефекты и не в состоянии конкурировать с нормально функционирующими и потому доминантными аллелями.

Некоторые мутации (альбинизм, коротконогость, короткопалость, отсутствие перьев или шерсти) хорошо заметны. Другие мутации не слишком значительны и приводят лишь к небольшим отклонениям от нормы.

Впервые мутации были обнаружены голландским ботаником Г. де Фризом и независимо от него русским ботаником С. И. Коржинским. Де Фриз назвал мутациями прерывистые скачкообразные изменения наследственного признака. Приведем основные свойства мутаций:

1. Мутации возникают внезапно, скачкообразно, без плавных переходов.
2. Мутации генетически устойчивы и передаются по наследству.
3. Мутации случайны и ненаправленны.
4. Сходные мутации могут возникать неоднократно.

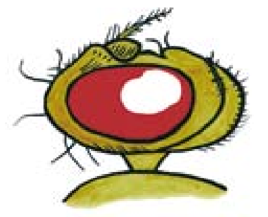
Каждая мутация вызвана какой-то причиной, внешней или внутренней. Мутации, возникающие под влиянием внешних воздействий (излучения, химических соединений), называют *индуцированными*, а факторы, их вызывающие, — *мутагенами*. Мутации, не имеющие внешней причины, называют *неиндуцированными или спонтанными*. Так, например, ДНК-полимеразы иногда ошибаются и вставляют некомплементарный нуклеотид.

Мутации в половых клетках (их еще называют *генеративными* — <лат. generо рождаю) передаются всем клеткам будущего организма. Происходящие в соматических клетках *соматические мутации* изменяют только часть клеток организма. Соматические мутации в клетках животных не передаются по наследству, потому что новый организм возникает из половых клеток. Другое дело растения: при вегетативном





Брахидактилия (короткопалость): фаланги короткие и сросшиеся



Соматическая мутация у дрозофилы: в некоторых клетках глаза пигмент не развит (белое пятно)

размножении отводками, ростками, клубнями, усами изменения в соматических клетках передаются потомству.

Мутации могут затрагивать целые хромосомы, их части или только отдельные гены.

Хромосомные мутации. Перестройки хромосом хорошо различимы в микроскоп на стадии метафазы. Основная причина хромосомных перестроек — разрывы хроматид с последующим воссоединением концов в нарушенном порядке. Фрагменты хромосом, не содержащие центромеры, при разрывах утрачиваются. Участок хромосомы может удвоиться, утратиться, развернуться на 180° или даже переместиться на негомологичную хромосому.

Геномные мутации. Особую группу наследственных изменений представляют собой мутации, приводящие к изменениям не самих хромосом, а их количества. Гаплоидный набор хромосом данного вида, включающий все гены и все другие последовательности ДНК, называют *геномом*. Мутации, приводящие к изменению генома, называют *геномными*. У организмов, размножающихся половым путем, геномные нарушения могут происходить по причине нерасхождения хромосом в первом или во втором делении мейоза. В результате появляются диплоидные гаметы. Образованное от слияния таких гамет потомство обладает вдвое большим хромосомным набором. Кратность набора может доходить до 4—6, реже — до 10—12 (у простейших до сотен) раз. Такие организмы называют *полиплоидными* (<греч. poly много + ploos кратный + eidos вид).

Полиплоидия часто наблюдается у растений и довольно редко у животных. Некоторые полиплоидные растения характеризуются мощным ростом, крупными плодами и семенами. Полиплоидия повышает надежность генетического материала, защищает его от влияния мутаций.

В результате нарушений в мейозе может измениться количество отдельных хромосом (анеуплоидия — <греч. an отрицательная частица + eu хорошо). Например, вследствие появления лишней хромосомы у человека возникает болезнь Дауна. Такого рода нарушения резко снижают жизнеспособность организма.

Типы хромосомных мутаций

А Б В В Г Д
Дупликация (удвоение)

А Б Г Д Е
Делеция (утрата)

А Б Г В Д Е
Инверсия (разворот)

А Б В V L S
N I J Г Д Е
Транслокация (обмен между негомологичными хромосомами)

Генные мутации. Эта группа мутаций встречается чаще всего. По причине локализованности их еще называют *точечными*. Генные мутации разделяют на две группы: 1) замена нуклеотидов, 2) утрата или вставка нуклеотидов. При замене нуклеотида в белке появляется иная аминокислота (если новый триплет случайно не кодирует ту же аминокислоту), его биологическая активность теряется частично или полностью. Трансляция может вовсе оборваться, если замена превратила кодон в стоп-кодон. Особенно опасны генные мутации второй группы: при утрате или вставке нуклеотидов границы триплетов сдвигаются, изменяя аминокислотный состав синтезируемой цепи, обычно при этом возникает и стоп-кодон, обрывающий трансляцию.

Генные мутации зачастую происходят в результате ошибок ДНК-полимеразы при репликации ДНК. Значительную часть повреждений устраняют ферментные системы *репарации* (<лат. reparatio восстановление), восстанавливающие изначальную (нативную) структуру ДНК. В результате уровень мутаций значительно снижается, обеспечивая стабильность геномов и сохраняя постоянство биологических видов.



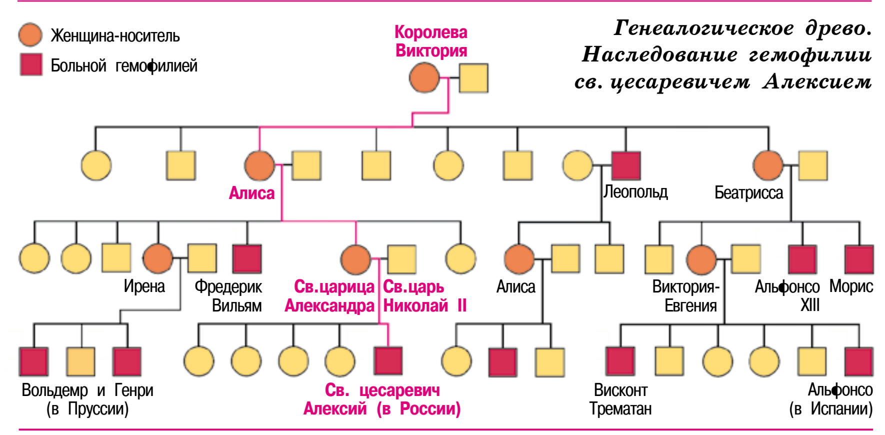
1. По какой причине важно выделять в геноме полиморфную и мономорфную части?
2. Чем отличаются комбинативная и мутационная изменчивости?
3. Перечислите четыре основных свойства мутаций.
4. Охарактеризуйте основные типы мутаций.

§ 33. Генетика человека

Изучение наследственности человека связано с определенными трудностями. Человек развивается медленно, потомство имеет немногочисленное, поэтому достаточную статистику провести весьма сложно. И, конечно же, к людям неприменимы методы экспериментальной генетики. Интерес к изучению генетики человека в последнее время особенно возрос по причине резкого увеличения количества мутагенов (химические вещества, радиация). Количество наследственных патологий за последние 20 лет возросло в несколько раз.

Рассмотрим методы изучения наследственности человека.

Генеалогический метод (<греч. genealogia родословная) основан на изучении наследования признака в семьях на протяжении ряда поколений. Метод позволяет выяснить, наследуется ли данный признак, проследить расщепление признаков в потомстве, характер сцепления с полом, а также аллельность генов, вызывающих нарушения в организме.



Генеалогическое древо. Наследование гемофилии св. цесаревичем Алексием

Генеалогический метод показал, что большинство мутаций рецессивны. Существуют врожденные формы рецессивной глухоты и шизофрении. По рецессивному принципу наследуются тяжелые заболевания обмена веществ: сахарный диабет и фенилкетонурия. Рецессивный характер имеют многие непатологические мутации. Например, голубой цвет глаз. Если у темноглазых родителей родился голубоглазый ребенок, — значит, оба они имеют рецессивный ген по этому признаку в гетерозиготном состоянии.

Изучение родословных позволило установить причину семейной трагедии русского царя святого Николая II — тяжелой болезни царевича Алексия, гемофилии. В генеалогическом древе царевича болезнь появляется у детей королевы Виктории. Далее она передавалась в рецессивной форме по материнской линии. Среди европейцев 0,01 % мужчин больны гемофилией.

Генеалогическими методами установлена возможность наследования некоторых дарований человека, например способности к музыке, математике. Музыкальный талант в родословной Бахов проявлялся неоднократно. Степень проявления таланта, разумеется, зависит от сочетания других психофизических признаков в фенотипе и воздействия социальной среды.



Королева Виктория в окружении своих потомков, слева от королевы — будущая царица Александра; здесь же, слева от неё, — будущий царь Николай II (фото 1894 г.)

Близнецовый метод. У человека в 1% случаев рождаются близнецы. Они могут быть разнояйцевыми или однояйцевыми. Разнояйцевые близнецы развиваются из двух различных яйцеклеток, одновременно оплодотворенных двумя мужскими гаметами, а однояйцевые — из одной яйцеклетки, разъединившейся на ранней стадии дробления зиготы. Разнояйцевые близнецы, хотя и бывают очень похожими, но чаще всего напоминают друг друга не более обычных братьев и сестер, рожденных в разное время; они бывают и разнополыми.

Однояйцевые близнецы встречаются примерно вдвое реже разнояйцевых, по причине общего генотипа они почти неразличимы. Их организмы настолько идентичны, что приживаются даже пересаженные от одного близнеца другому участки кожи. Для других людей подобрать подходящего донора весьма непросто из-за наличия в поверхностном аппарате клеток специфичных для каждого человека белков, отвечающих за тканевую совместимость.

Изучение однояйцевых близнецов, проживающих в разных условиях, позволяет установить влияние среды на проявление наследственных задатков, а также выяснить, является ли данный признак наследуемым.

Цитогенетический метод основан на микроскопическом изучении хромосом. Метод позволяет изучать нормальный кариотип человека, а также выявлять наследственные болезни, вызванные геномными и хромосомными мутациями. Разработаны специальные методы, позволяющие окрашивать участки хромосом в зависимости от их строения. Это позволяет различать даже очень похожие по внешнему виду хромосомы. В цитогенетических исследованиях обычно используют лимфоциты крови, которые культивируют на искусственных питательных средах. Исследования хромосом проводят на стадии метафазы.

Тяжелое заболевание, вызванное нарушениями хромосом, — синдром Дауна (0,13% новорожденных). Заболевание характеризуется умственной отсталостью, больные имеют низкий рост, короткие и короткопалые руки и ноги. Вследствие нарушений расхождения хромосом в мейозе в клетках больных не 46, а 47 хромосом (вместо двух — три 21-х хромосомы).

Пары гомологичных хромосом человека при специальном окрашивании



При синдроме Клайнфельтера в зиготе будущего мальчика (около 0,17 %) появляется лишняя X-хромосома. Больные умственно отсталы и бесплодны, у них недоразвиты мужские половые признаки, широкий таз, узкие плечи и высокий рост.

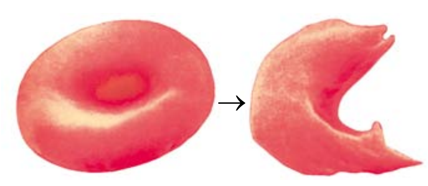
Причиной синдрома Шерешевского—Тернера является отсутствие в зиготе будущей девочки (около 0,02 % новорожденных) второй X-хромосомы. У больных недоразвиты женские половые органы, широкая грудная клетка и рост не выше 150 см.

Утрата фрагмента 5-й хромосомы приводит к развитию синдрома «кошачьего писка». У больных детей необычный плач, напоминающий мяуканье кошки, обусловленный нарушением строения гортани и голосовых связок. Синдром сопровождается умственным и физическим недоразвитием. Отсутствие небольшого участка 21-й хромосомы вызывает у человека острый лейкоз.

Биохимические методы основаны на изучении метаболизма. Эти методы широко применяют в диагностике наследственных болезней, обусловленных генными мутациями, и при выявлении гетерозиготных носителей заболеваний. Как мы уже знаем, гены не сами по себе формируют признаки, а посредством кодируемых ими белков. Белки формируют в организме взаимосвязанную систему биохимических реакций. Исследование этих реакций и позволяет выявлять многие заболевания.

Известны десятки наследственных нарушений обмена веществ. Так, сахарный диабет развивается при недостаточно активном синтезе поджелудочной железой инсулина, отвечающего за усвоение глюкозы клетками. Больному регулярно вводят недостающий инсулин, и обмен веществ нормализуется. Фенилкетонурия вызвана мутацией гена, расположенного в 12-й хромосоме, и характеризуется снижением активности фермента, превращающего аминокислоту фенилаланин в аминокислоту тирозин. Повышенная концентрация в крови фенилаланина сопровождается увеличением содержания других вредных для организма соединений. В результате гомозиготные по мутантному аллелю дети (около 0,01 %) при отсутствии диеты, исключающей продукты, содержащие фенилаланин, страдают умственной отсталостью.

Серповидно-клеточная анемия возникает в результате генной мутации, приводящей к замене в шестом положении цепи гемоглобина глутаминовой кислоты на валин. Вследствие этого нормальный гемоглобин A превращается в гемоглобин S, который в условиях недостатка кислорода полимеризуется с образованием кристаллов и волокон; эритроциты приобретают



Нарушение формы эритроцитов при серповодно-клеточной анемии

характерную серповидную форму и не в состоянии эффективно присоединять кислород. Гомозиготные по этому рецессивному гену больные погибают в раннем возрасте, а гетерозиготные (по причине неполного доминирования) — при больших физических нагрузках ощущают повышенную утомляемость.

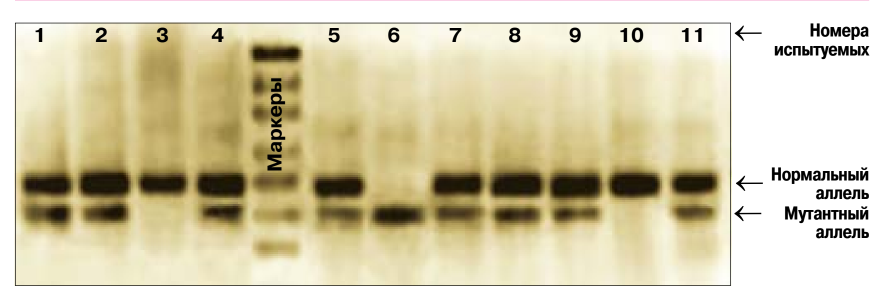
Данные биохимических исследований позволяют излечивать или компенсировать последствия заболевания с помощью дополнительного введения ферментов, не синтезирующихся в организмах больных. Одновременно из их рациона по возможности исключают продукты, которые не могут быть усвоены из-за отсутствия перерабатывающих ферментов (например, углеводы — из рациона больных сахарным диабетом).

Одна из систем групп крови человека AB0 определяется сочетанием трех аллельных генов, дающих 4 фенотипа — 4 группы крови, различающиеся белками на поверхности эритроцитов и в плазме крови. Другой важной системой групп крови является резус-система (Rh), отвечающая за наличие на поверхности эритроцитов резус-фактора (открытого при введении эритроцитов макак-резусов кроликам). Синтез резус-фактора контролируется тремя сцепленными генами, каждый из которых имеет не менее двух аллелей. Сочетания этих аллелей формируют генотипы с наличием (Rh^+) или отсутствием (Rh^-) резус-фактора. При переливании крови необходимо знать группу крови по системе AB0 и по системе резус-фактор.

Если мать будущего ребенка имеет кровь с отрицательным резусом (Rh^-), а отец — с положительным (Rh^+), то в силу доминантности резус-положительного аллеля кровь эмбриона будет резус-положительной (если у отца нет резус-отрицательного аллеля). Несовместимость крови матери и ребенка вызывает в их организмах противодействие.

При первой беременности эритроциты плода проникают в кровь матери только в конце эмбриогенеза, поэтому значительных повреждений у ребенка не обнаруживается. При второй беременности накопившиеся антитела с самого начала проникают в кровь плода и вызывают разрушение его эритроцитов, имеющих отрицательный резус-фактор. У ребенка развивается гемолитическая анемия. При последующих беременностях количество антител еще более увеличивается, и это приводит к гибели плода. Если женщине было сделано переливание резус-положительной крови еще до первой беременности, то в сочетании с гомозиготным резус-положительным мужем она оказывается бездетной.

После того, как выяснилась биохимическая природа этого явления, были разработаны медицинские методы, позволяющие матери благополучно вынашивать и рожать детей при любом сочетании резус-факторов. В Европе лишь 15 % людей имеют кровь Rh^-, а остальные 85 % — Rh^+.



В колонках — электрофореграммы фрагментов ДНК. Человек, ДНК которого в 6-й колонке, имеет только мутантный аллель и поэтому устойчив к ВИЧ: на поверхности его Т-лимфоцитов отсутствуют белки, необходимые для присоединения вируса (по Е.В.Балановской, С.А.Фроловой)

Методы молекулярной генетики и генетической инженерии позволяют изучить организацию генетического аппарата, молекулярную структуру генов и генома, установить нуклеотидную последовательность — как говорят, секвенировать (<англ. sequence последовательность) геном человека и многих других организмов, выяснить молекулярные механизмы экспрессии генов. Разработаны методы определения функций генов, клонирования генов. Налажена ДНК-диагностика (выявление родства, идентификация личности), достигнуты успехи в генной терапии наследственных заболеваний.

Метод полимеразной цепной реакции (ПЦР) позволяет многократно (до 10^7 раз) умножить (амплифицировать) желаемые фрагменты ДНК. Сначала специальные молекулы-праймеры присоединяются к ДНК на концах фрагмента, подлежащего амплификации. Затем ДНК-полимераза начинает размножать выделенные фрагменты. После каждого цикла размножения количество фрагментов удваивается, возрастая в геометрической прогрессии аналогично химическим цепным реакциям. Наличие электрического заряда на поверхности ДНК позволяет выделить такие фрагменты в электрическом поле (при электрофорезе). Методом ПЦР совместно с электрофорезом изучают генотипы живых организмов и человека. Этими методами удается обнаруживать даже единственную ДНК, например, вируса и соответственно выявлять многие болезни.



1. Перечислите основные методы изучения наследственности человека, оцените возможности каждого из них.
2. Приведите примеры нарушений, обнаруженных цитогенетическим методом.
3. Как биохимические методы позволяют лечить наследственные заболевания?
4. Почему будущим родителям нужно знать свои резус-факторы?

Глава 8. ОСНОВЫ СЕЛЕКЦИИ

Селекцией (<лат. selectio отбор) *называют комплексную биологическую дисциплину, направленную на выведение сортов растений, пород животных и штаммов микроорганизмов с нужными человеку признаками.* Все современные сорта растений и породы домашних животных, на использовании которых основана жизнь цивилизации, созданы с помощью селекции. Появление этих культурных форм оказалось возможным в основном благодаря свойственной природным организмам комбинативной наследственной изменчивости, заключающейся в перекомбинации генов при скрещивании.

Понять суть явлений, происходящих при селекции, можно лишь на основе генетических знаний. Поэтому селекция как наука возникла относительно недавно.

§ 34. Создание сортов растений и пород животных

Выдающийся русский генетик и селекционер Н. И. Вавилов указывал, что для успешной селекционной работы необходимо изучать и анализировать:

— исходное сортовое разнообразие культурных растений и видовое разнообразие диких растений, являющихся объектами селекции;

— закономерности наследственной изменчивости при гибридизации и мутациях;

— роль среды в развитии изучаемых признаков;

— формы искусственного отбора, направленные на усиление и закрепление желательных признаков.

Что же такое сорт или порода? Под сортом, породой, штаммом понимают группу организмов с определенным генотипом, искусственно выведенных человеком и обладающих заданными наследственными свойствами: продуктивностью, морфологическими и физиологическими признаками. Причем свойства сорта или породы проявляются наиболее полно лишь при правильном культивировании (удобрении, поливке и пр.), содержании (кормлении, уходе) и благоприятных внешних условиях.

Ценность породы животных определяется количеством и качеством получаемого продукта. Для крупного рогатого скота важны живой вес, величина удоя, жирность молока и содержание в нем белка. Ценность сорта культурного растения определяется урожайностью, пищевыми свойствами, качеством получаемого сырья для промышленности (хлопок, лен) и пр.

Продуктивность культурных растений намного выше продуктивности диких видов, но вместе с тем культурные растения лишены защитных горьких и ядовитых веществ, колючек и шипов. Преобразование диких животных и растений в культурные формы называют *одомашниванием*. Из многих тысяч видов позвоночных человеку удалось одомашнить только 20. Издавна одомашнены овца, коза, лошадь, собака, индейка, свинья, а в XX в. с развитием пушных хозяйств одомашнены и пушные звери.

У культурных форм организмов искусственно развиты полезные для человека признаки, которые в природных условиях бесполезны или даже вредны. Способность кур давать по 300—400 яиц в год в дикой природе лишена смысла, поскольку такое количество яиц они не смогут насиживать. Коровам для кормления телят хватает десятков-сотен килограммов молока, а удой современных пород между отелами составляет до 15 000 кг.

Из сотен тысяч видов высших растений человек окультурил только 150, причем некоторые совсем недавно. Так, подсолнечник и сахарную свеклу стали выращивать лишь в XIX веке, а мяту — в XX.

Центры происхождения культурных растений. Прежде чем начать выведение нового сорта, селекционер подбирает из диких видов и культурных сортов экземпляры, наделенные интересующими его свойствами. Успех селекционной работы во многом зависит от степени разнообразия исходных растений.

Решая проблему генетического материала для селекции, Н. И. Вавилов с коллективом сотрудников в многочисленных экспедициях обследовал земной шар и собрал около 250 тыс. образцов культурных растений. В результате выявилось восемь районов с наибольшим их разнообразием. Географически они совпали с очагами древних цивилизаций. Дальнейшие исследования ученых выявили еще четыре района: Австралийский, Африканский, Североамериканский и Европейско-Сибирский.

Если ранее предполагалось, что возделывание окультуренных сортов началось в плодородных долинах Нила, Тигра, Евфрата и других крупных рек, то после исследований Вавилова стало понятно, что все культурные растения появились в горных районах тропиков, субтропиков и умеренной зоны.

Родиной картофеля считается Южная Америка, риса — Китай и Япония, кукурузы — Мексика, пшеницы и ржи — Средняя Азия и Закавказье. С этими же территориями, как показали археологические исследования, связаны и районы одомашнивания животных. В Индии и Южном Китае впервые одомашнены куры, утки, гуси и свиньи, а на территории Малой и Средней Азии и Афганистана были одомашнены овцы. Предком свиньи считается дикий кабан, домашней курицы — дикая красная курица джунглей, а домашней кошки — дикая африканская кошка.

Центры происхождения культурных растений (по Н.И.Вавилову)



	Название центра	Географическое положение	Культурные растения (% от общего количества сортов)
1	Южно-азиатский тропический	Тропическая Индия, Индокитай, Южный Китай, о-ва Юго-Восточной Азии	Рис, сахарный тростник, огурец, баклажан, черный перец, цитрусовые и др. (50 %)
2	Восточно-азиатский	Центральный и Восточный Китай, Япония, Корея, Тайвань	Соя, просо, гречиха, редька, слива, вишня и др. (20 %)
3	Юго-Западно-азиатский	Малая и Средняя Азия, Афганистан, Северо-Западная Индия	Пшеница, рожь, овес, лен, чеснок, репа, конопля, бобовые, морковь, виноград, абрикос, груша и др. (14 %)
4	Средиземноморский	Побережье Средиземного моря	Капуста, брюква, сахарная свекла, маслина, клевер, чечевица, кормовые травы и др. (11 %)
5	Абиссинский	Абиссинское нагорье Африки, часть Аравийского п-ова	Ячмень, твердая пшеница, кофейное дерево, банан, арбуз, хлопчатник, сорго
6	Центрально-американский	Южная Мексика	Кукуруза, какао, тыква, фасоль, длинноволокнистый хлопчатник, красный перец
7	Южно-американский	Западное побережье Южной Америки	Картофель, ананас, томаты, хинное дерево

Всего Вавилов выделил семь основных центров, называемых центрами *доместикации* (<лат. domesticus домашний).

Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости. Изучая богатейшую коллекцию растений, Н. И. Вавилов обнаружил, что ряды изменчивости разных видов похожи между собой. Одни и те же признаки в этих рядах устойчиво повторяются. У мягкой пшеницы существуют сорта с остистыми, безостыми и полуостистыми колосьями, присутствуют и вариации цвета: белоколосые, красноколосые, черноколосые. Родственные мягкой пшенице виды имеют те же вариации.

Свои обобщения Вавилов сформулировал в виде закона: *«Виды и роды, генетически близкие, характеризуются сходными рядами наследственной изменчивости с такой правильностью, что, зная ряд форм в пределах одного вида, можно предвидеть нахождение параллельных форм у других видов и родов»*.

Закон гомологических рядов позволяет на основе изучения изменчивости какого-либо вида предсказать наличие похожих признаков у родственных видов и добиваться их получения методами селекции. Точно так же периодическая система элементов Д. И. Менделеева предсказывала наличие еще не открытых элементов и их свойства. Высоко оценивая открытие Вавилова, коллеги назвали его Менделеевым в биологии.

Н. И. Вавилов указывал на применимость открытой им закономерности и к животным. Так, у грызунов существуют гомологические ряды изменчивости по окраске шерсти. Параллелизм наследственной изменчивости прослеживается и между далекими видами, хотя выражен менее полно. У млекопитающих наблюдается альбинизм и отсутствие шерсти, у птиц — альбинизм и отсутствие перьев, у рыб — отсутствие чешуи. У животных обнаружены многие наследственные заболевания и уродства, сходные с наблюдаемыми у человека. На животных с такими аномалиями изучают болезни человека. Гемофилия бывает у кошек и мышей; катаракта глаз — у собак, лошадей, мышей и крыс; врожденная глухота — у собак, мышей и морских свинок.

Сходство наследственной изменчивости самых разнообразных растений и животных, в том числе далеких видов, по мнению ряда ученых, может свидетельствовать о наличии единого творческого замысла Создателя. Принцип, по которому был составлен ряд свойств растений или животных одного вида, проявился в строении и внешней форме множества других видов.



1. Что называют селекцией в широком и узком смыслах?
2. Какие процессы носят название одомашнивания?
3. Охарактеризуйте семь основных центров доместикации.
4. Сформулируйте закон гомологических рядов.

§ 35. Методы селекции

Основными методами селекции являются *отбор* и *гибридизация,* а также *мутагенез, полиплоидия, клеточная и генная инженерия.* Как правило, эти методы комбинируют. В зависимости от способа размножения вида применяют массовый или индивидуальный отбор. Среди перекрестно-опыляющихся растений обычно проводится массовый отбор в нескольких поколениях до тех пор, пока интересующий признак достигнет возможно большей степени выраженности. Сорт получается генетически неоднородным, и поэтому отбор время от времени повторяют.

При индивидуальном отборе от потомства каждой особи в ходе самоопыления растений или близкородственного скрещивания животных (*инбридинга* — <англ. in внутри + breeding разведение) получают чистые линии — группы особей, гомозиготных по исследуемым признакам. В каждом следующем поколении в соответствии со вторым законом Менделя половина потомков гетерозигот становятся гомозиготами, так что к 7—8-му поколению достигается практически 100 % уровень гомозиготности: $1/2 + 1/4 + 1/8 + 1/16 + 1/32 + 1/32 + 1/64$ (7 раз) $= 63/64 = 98{,}4\,\%$. Инбридинг резко снижает жизнеспособность и плодовитость, но вместе с тем закрепляет новые полезные признаки. В чистых линиях признаки проявляются наиболее полно.

После получения чистой линии отбор перестает действовать вследствие однородности популяции, ее гомозиготности (все особи одинаковые). Для дальнейшего совершенствования признаков проводят *гибридизацию* — получение гибридов, объединяющих наследственный материал генетически разнородных организмов. Гибридизация лучших чистых линий дает неоднородность сорта по генотипу и материал для дальнейшего отбора.

Гетерозис. Гибриды между чистыми линиями по ряду признаков существенно превосходят родительские особи. Объясня-

Породы собак





Проявление гетерозиса у кукурузы

ется это тем, что их генотип в соответствии с первым законом Менделя объединяет все нормально функционирующие доминантные гены родителей. Этот эффект получил название *гетерозиса,* или *гибридной силы*. На явление гетерозиса в первом поколении гибридов растений указывал еще в XVIII в. почетный академик Петербургской академии наук, немецкий ботаник И. Кельрейтер. Интенсивное применение гетерозиса в селекции началось только в 1930-х годах.

В растениеводстве гетерозис наблюдается, например, при скрещивании чистых линий кукурузы. Растения чистых линий низкорослы и малоурожайны. Их гибриды проявляют гетерозис вследствие комбинирования благоприятных генов исходных особей. Урожайность гетерозисного гибрида кукурузы в 1,5—2 раза превосходит урожайность исходных сортов.

К сожалению, эффект гибридной силы проявляется только в F_1 и заметно снижается уже в F_2 (у кукурузы в F_2 — на 35 %, в F_3 — на 50 %): в соответствии со вторым законом Менделя появляются рецессивные гомозиготы и уже меньшее количество признаков определяется доминантными генами. Поэтому в сельском хозяйстве поддерживают самоопыляющиеся чистые линии. Путем их перекрестного опыления получают семена F_1, из которых вырастают гетерозисные растения.

Гибриды кур, полученные от скрещивания двух чистых линий породы леггорн, значительно превосходят своих родителей по яйценоскости, весу яиц и весу взрослых кур. В животноводстве для воспроизводства внутривидовых гетерозисных гибридов поддерживают чистые родительские линии путем инбридинга.

Полиплоидия и отдаленная гибридизация. Генотип многих культурных растений содержит более двух наборов хромосом — они *полиплоидны*. Некоторые полиплоиды обладают быстрым ростом, высокой урожайностью, повышенной устойчивостью к действию неблагоприятных факторов. Высокие характеристики достигаются многократностью набора доминантных генов, контролирующих проявление благоприятных признаков (их полимерией). Дублирование ДНК защищает организм от повреждения мутациями.

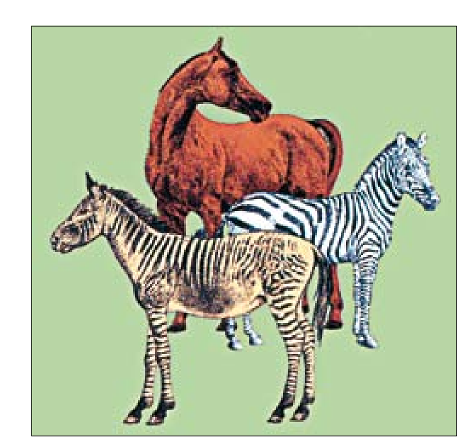
Природный полиплоид мягкая пшеница содержит в генотипе шестикратный набор хромосом родственных злаков, твердая пшеница — четырехкратный. Полиплоидными являются и дру-

гие сельскохозяйственные культуры: картофель, хлопчатник, овес, садовая земляника, люцерна, некоторые сорта гречихи, ржи, сахарной свеклы и подсолнечника. Селекционеры Японии научились выращивать триплоидную форму арбузов, не имеющих семян (кратность нечетная, хромосомы остаются без пары и не конъюгируют, мейоз нарушается). Для этого они скрещивают особи с тетраплоидным и диплоидным набором. У покрытосеменных культур 30—35 % составляют полиплоиды, среди них у злаковых трав эта доля еще больше — 70 %. В северных широтах и высокогорных районах полиплоиды составляют 80% растений.

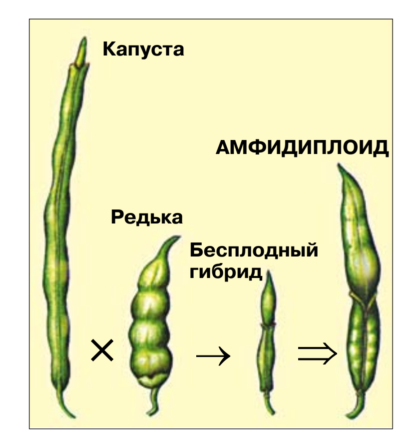
Обычно скрещивание происходит в пределах вида, но иногда удается получать гибриды растений разных видов и даже разных родов. Такие скрещивания называют *отдаленной гибридизацией*. Гибрид пшеницы и ржи тритикале удачно сочетает ценные качества обеих культур. Он дает высокий урожай зерна и зеленой массы с высокими кормовыми качествами. Гибридизация пшеницы с пыреем позволила вывести засухоустойчивый и морозостойкий зернокормовой сорт пшеницы с чрезвычайно высокой урожайностью.

Гетерозисные гибриды лошади и осла (мул), одногорбого и двугорбого верблюдов (нар) обладают большой силой и выносливостью. Гибриды тонкорунных овец с диким горным бараном архаром (архаромеринос) отличаются шерстью высокого качества. Отдаленные гибриды (межвидовые, межродовые) животных бесплодны. Причина их стерильности — различие хромосом. Гомологичные хромосомы имеют разное строение и не могут конъюгировать. Вспомним, что при нормальном течении мейоза конъюгировавшие гомологичные пары расцепляются и расходятся к разным полюсам деления. В случае скрещивания отдаленных гибридов гомологичные пары не конъюгируют и поэтому расходятся не к разным полюсам, а случайным образом, в гаметах оказываются произвольные наборы хромосом. Такие гаметы обычно нежизнеспособны.

Одним из основных методов преодоления стерильности отдаленных гибридов является использование полиплоидии. Веретено деления разрушают специальными веществами (например, колхицином), в результате удвоившиеся хромосомы остаются



Зеброид — бесплодный гибрид лошади и зебры



Капустно-редечный гибрид (преодоление бесплодия полиплоидией)

в одной клетке. Гомологичные хромосомы каждой родительской особи благодаря кратности набора конъюгируют между собой, и нормальное течение мейоза восстанавливается.

Впервые успешно преодолеть бесплодие отдаленных гибридов посредством полиплоидии удалось русскому генетику Г. Д. Карпеченко в 1924 г. Он получил межродовый гибрид капусты и редьки. У обоих этих видов содержится по 9 хромосом в гаплоидном наборе. Гибрид (амфигаплоид — <греч. amphi вокруг, с обеих сторон) имеет 18 хромосом и бесплоден: 9 капустных и 9 редечных хромосом не конъюгируют в мейозе. В амфидиплоидном гибриде (18 хромосом капусты и 18 хромосом редьки) капустные хромосомы конъюгируют с капустными, а редечные — с редечными, и гибрид благополучно плодоносит. Гибрид напоминает и капусту и редьку. Его стручки состоят из двух состыкованных стручков, один из которых похож на капустный, а другой — на редечный.

Полиплоидия у животных встречается довольно редко. Известному русскому ученому Б. Л. Астаурову удалось путем отдаленной гибридизации с последующим использованием полиплоидии получить полиплоидные формы тутового шелкопряда. Гибрид объединяет хромосомы двух исходных видов и нормально размножается.

Искусственный мутагенез. В природных условиях мутации происходят очень редко. Для того чтобы повысить разнообразие исходного генетического материала для селекции, количество мутаций у исходных видов искусственно увеличивают, используя различные мутагены: ультрафиолетовые и рентгеновские лучи, гамма-излучение, тепловые и быстрые нейтроны, ряд специальных химических мутагенов. Этот метод применим в основном только для растений и микроорганизмов. Подавляющее большинство возникающих мутаций снижают жизнеспособность, но иногда появляются и такие, которые представляют интерес для селекции. В редких случаях мутантные растения сразу обладают желаемыми качествами, обычно для получения нужных признаков мутанты подвергаются гибридизации и отбору.

Сорт яровой пшеницы «новосибирская-67» выведен на основе мутантной формы, полученной при облучении рентгеновскими лучами семян сорта «новосибирская-7». Методом мутагенеза

выведен известный на Украине сорт «киянка». Оба эти сорта имеют короткую и утолщенную солому, предохраняющую от полегания в период уборки.

Клеточная инженерия — совокупность методов конструирования клеток нового типа на основе их культивирования, гибридизации и реконструкции. Методы клеточной инженерии лежат в основе ряда биотехнологических процессов, широко применяются в селекции растений и животных.

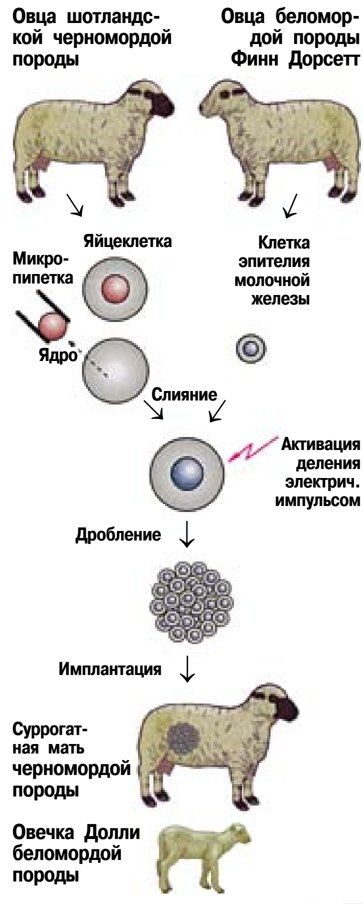
Метод искусственного получения растений на основе явления регенерации. Из культуры клеток или тканей многих растений оказалось возможным сразу выращивать полноценные растения с желаемыми свойствами. Так, если требуется усилить солеустойчивость растения, то в питательную среду добавляют увеличенное количество соли. Выжившие клетки формируют солеустойчивый клон. Отбору в данном случае подвергается не целое растение, а только отдельные клетки. Не выходя из лаборатории, ученый может провести отбор у тысяч растений.

Метод гаплоидов. На специальных средах ученые выращивают растения из клеток пыльцевых зерен. Гаплоидный набор пыльцы искусственно делают диплоидным, в результате организм становится гомозиготным сразу по всем генам. Экономятся годы селекционных работ при получении чистых линий.

Метод гибридизации соматических клеток использует процедуру слияния *протопластов* — клеток растений, утративших свои оболочки с помощью обработки специальными ферментами. Таким путем удается преодолевать межвидовые и даже межродовые барьеры. Разработаны методы, позволившие получить гибриды неделящихся *B*-лимфоцитов с опухолевыми клетками мышей — *гибридомы*, они продуцируют антитела, необходимые в диагностике и лечении болезней человека, и обладают способностью к неограниченному делению.

Клонирование животных. Напомним, что клоном называют потомство одной клетки, полученное неполовым путем. Все потомки в клоне генетически идентичны. У одноклеточных микроорганизмов клонирование — основной способ размножения. У растений широко распространено вегетативное размножение, по существу его можно рассматривать как способ клонирования. Растение можно клонировать, вырастив его из одной соматической клетки. У некоторых беспозвоночных также несложно получать клоны. Так, если зародыш морского ежа на ранней стадии дробления искусственно разделить на бластомеры, то из каждого разовьется морской еж. Клонами являются также организмы, размножившиеся партеногенетически, а у людей — однояйцевые близнецы.

В последнее десятилетие активно изучается возможность искусственного массового клонирования уникальных животных,



Клонирование овечки Долли

ценных для сельского хозяйства. Основной подход заключается в переносе ядра из диплоидной соматической клетки в яйцеклетку, из которой предварительно удалено собственное ядро. Яйцеклетку с подмененным ядром стимулируют к дроблению (часто электрошоком) и помещают животным для вынашивания. Таким путем в 1997 г. в Шотландии от ядра диплоидной клетки из молочной железы овцы-донора появилась овечка Долли. Она стала первым клоном, искусственно полученным у млекопитающих. Это достижение принадлежит Яну Вильмуту и его сотрудникам. Вскоре в других странах были получены клоны телят, мышей и прочих животных.

Однако говорить о массовом клонировании животных преждевременно. Эффективность клонирования крайне низкая: манипуляции с яйцеклеткой в условиях in vitro (вне организма), особенно замена ядра, нарушают сложную и хрупкую организацию яйцеклетки, поэтому среди клонов высок процент различных врожденных аномалий. При клонировании овец из 236 попыток успех был только в одном случае, да и то относительный: по комплексу физиологических параметров Долли состарилась уже к моменту достижения размеров взрослой овцы. Ненамного лучшими были результаты и у последователей Вильмута. Таким образом, целесообразность массового клонирования животных вызывает серьезные сомнения.

Рассматривается вопрос и о возможности клонирования человека — выдающейся личности, любимого родственника или себя самого. Набор генов не определяет личность,

Первый клон млекопитающего овечка Долли (слева)

однояйцевые близнецы имеют одинаковый набор генов, но они — разные люди. Согласно христианскому учению, человек только однажды живет на земле; в соответствии с таким пониманием нельзя родиться заново в клоне. Клонирование человека недопустимо, поскольку искусственные клоны обречены на несчастную жизнь с уродствами и серьезными нарушениями здоровья, — а главное, это было бы вмешательством в Богом данный порядок. В большинстве стран после первых сообщений о клонировании животных был введен строгий запрет на эксперименты по клонированию человека.



1. Назовите два основных метода селекции и опишите примерный ход селекционных работ.
2. Какова причина гетерозиса? Приведите примеры.
3. С чем связано положительное влияние полиплоидии?
4. С какой фазой мейоза связана бесплодность отдаленных гибридов?
5. Перечислите методы искусственного мутагенеза.
6. Опишите основные методы клеточной инженерии.

§ 36. Достижения селекции

Работы И. В. Мичурина (1855—1935). Методы отдаленной гибридизации нашли наибольшее применение в селекции растений. Их широко использовал известный русский селекционер И. В. Мичурин. Для преодоления нескрещиваемости селекционер разработал специальные приемы.

Метод посредника. Нескрещиваемость двух видов Мичурин преодолевал с помощью третьего вида (посредника). Так, для скрещивания монгольского миндаля и культурного персика, Мичурин в качестве посредника использовал полудикий персик Давида. Сначала миндаль скрещивался с персиком Давида, а затем гибрид — с культурными сортами персика. Полученные сорта персика успешно плодоносят в средней полосе России.

Метод ментора. Для управления доминированием тех или иных признаков родителей гибриды прививались на ту родительскую форму, признаки которой желательно было развить. Родительское растение таким образом исполняло роль воспитателя, или ментора. Методом ментора был выведен гибрид американской яблони «бельфлер» и китайской яблони из Сибири — сорт «бельфлер-китайка». Скрещивание с воспитанием позволило вывести сорт груши «бере зимняя Мичурина». Исходными особями послужили уссурийская груша и южный сорт груши «бере рояль».

Мичурин получил гибриды вишни и черемухи, терна и сливы, яблони и груши, ежевики и малины, рябины и боярышника, персика и абрикоса, тыквы и дыни, дыни и арбуза. Большинство сортов Мичурина — сложные гетерозиготы. Для сохранения уникальных качеств их можно размножать только весьма непростым вегетативным путем: отводками и прививками. По этой причине сорта Мичурина не получили широкого распространения. Значение его работ было преувеличено; как пережитки минувшей эпохи звучат сегодня и мичуринские лозунги о том, что мы не можем ждать от природы милостей, а должны сами взять у нее все, что нам нужно.

Достижения селекции. За последнее столетие селекционеры добились поразительных успехов. Урожайность зерновых повысилась в 10 раз. В развитых странах получают до 100 ц/га пшеницы, риса, кукурузы. Новые сорта картофеля дают почти 1 000 ц/га — это в четыре раза выше урожая прежних сортов. Успехи наблюдаются и в селекции других культур.

Путем гибридизации географически отдаленных форм и отбора академик П. П. Лукьяненко получил высокопродуктивные сорта кубанской пшеницы «безостая 1», «аврора», «кавказ». Академик В. Н. Ремесло вывел замечательные морозоустойчивые сорта озимой пшеницы «мироновская 808», «юбилейная 50», «харьковская 63». В разных регионах России (в Сибири, Поволжье) и за рубежом широко используются сорта яровой пшеницы, полученные А. П. Шехурдиным и В. Н. Мамонтовой: «саратовская 29», «саратовская 36», «саратовская 210». Саратовские сорта занимают более половины посевных площадей яровой пшеницы. «Саратовская 29» обладает прекрасными технологическими свойствами и служит стандартом хлебопекарных качеств.

Академик В. С. Пустовойт на Кубани получил сорт подсолнечника, содержащий в семенах до 50—52 % масла.

Серьезная проблема связана с сохранением культурных форм: возделывание лишь отдельных сортов резко сокращает генофонд, снижает приспосабливаемость. При изменении климата или по другим причинам сорт может исчезнуть. При селекции высокомасличных сортов подсолнечника на Кубани оказались отобранными особи с тенденцией к позднему созреванию. Эта тенденция стала развиваться, подсолнечник созревал все позже и, наконец, перестал вызревать до дождей, начал гнить на полях. Восстановить культурные сорта оказалось делом не легким: к тому времени сорта В. С. Пустовойта сменили по всему миру все другие сорта подсолнечника.

Значительный вклад в селекцию новых пород животных внес отечественный селекционер М. Ф. Иванов. Им была выведена одна из самых продуктивных в мире пород шерстно-мясных

тонкорунных овец — «асканийский рамбулье», высокопродуктивная порода свиней «украинская степная белая», мясомолочная «костромская» порода коров. Для получения «асканийского рамбулье» были скрещены лучшие представители украинских мериносов с «американскими рамбулье». В результате девятилетней селекционной работы по скрещиванию привезенного из Англии выдающегося производителя «крупной белой» породы с лучшими местными породами была получена порода «украинская степная белая», которая по весу, скороспелости, плодовитости и качеству продукции не уступает «крупной белой», но прекрасно переносит местные условия.

Гибридизация с дикими видами придает культурным формам устойчивость к условиям среды и невосприимчивость к болезням. Гибрид тонкорунных и грубошерстных овец с диким бараном архаром — архаромеринос — может использовать высокогорные пастбища, недоступные обычным овцам. Проведена гибридизация яка с крупным рогатым скотом. В результате успешного применения гетерозиса выводят бройлерных цыплят. Межродовый гибрид белуги со стерлядью — бестер — неприхотлив и может выращиваться в непроточных водоемах.

Селекция микроорганизмов направлена на создание генетических линий (штаммов), обеспечивающих максимальную производительность полезных веществ. Продукты жизнедеятельности бактерий и одноклеточных эукариот (водорослей, дрожжей и плесневых грибов) находят применение в различных областях промышленности и медицины. На деятельности микроорганизмов основано брожение теста, получение большинства молочных продуктов, квасов, виноделие, пивоварение, квашение капусты, кормовых добавок, а также производство лекарств и биологически активных соединений.

С целью увеличения эффективности селекции диапазон наследственной изменчивости исходных организмов иногда удается расширить с помощью мутагенеза. У бактерий набор хромосом гаплоидный, поэтому каждая мутация проявляется в фенотипе уже в первом поколении, облегчая отбор. Большая скорость размножения позволяет быстро получить значительное потомство. Полученные штаммы подвергают многократному отбору с пересевом на питательные среды и контролем на образование требуемого продукта.

Использование данной технологии позволяет получать штаммы значительно более продуктивные, чем природные формы. Так, получены плесневые грибы, продуцирующие в тысячи раз больше антибиотика, чем исходные формы. Новые штаммы микроорганизмов синтезируют в необходимых для человечества количествах витамины B_1, B_{12}, которые неспособны вырабатывать организмы животных и человека.



1. Какие приемы селекции применял Мичурин?
2. Приведите примеры достижений селекционеров.
3. Чем опасно возделывание лишь отдельных сортов?
4. Чем полезны для человека микроорганизмы?

§ 37. Генетическая инженерия и биотехнология

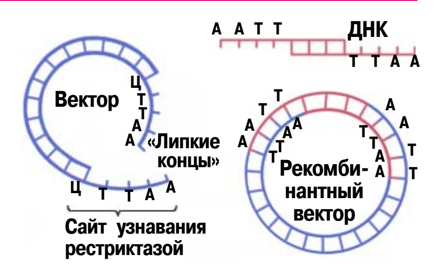
Генетическая инженерия (ГИ) — *совокупность методов, позволяющих переносить генетическую информацию из одного организма в другой с помощью сконструированных in vitro (вне организма) рекомбинантных молекул ДНК (искусственно скомбинированных из фрагментов) с заданными наследственными свойствами.* Поэтому ГИ также называют технологией рекомбинантных ДНК. Одна из задач ГИ — получение организмов с желаемыми свойствами. Организмы, в которые с помощью методов ГИ введены несвойственные им гены, носят название трансгенных.

Основные принципы ГИ. Бурное развитие ГИ началось после 1970 г., когда из клеток бактерий научились выделять рестриктазы — ферменты, защищающие бактерии от бактериофагов. Узнавая в чужеродной ДНК специфичный для каждой рестриктазы сайт (последовательность из 4—6 нуклеотидов), рестриктазы делают в этом сайте разрывы обеих цепей ДНК. В результате чужеродная ДНК оказывается разрезанной на фрагменты и нефункциональной. На сегодня известно около 3500 рестриктаз. Например, рестриктаза *Eco* RI («еко-эр-один») из кишечной палочки (*Escherichia coli*) узнает сайт ГААТТЦ:

5′ — Г↓А А Т Т Ц — 3′ ⇒ 5′ — Г   А А Т Т Ц — 3′
3′ — Ц Т Т А А↑Г — 5′   3′ — Ц Т Т А А   Г — 5′

В результате ступенчатого разреза образуются фрагменты ДНК с выступающими однонитевыми концами, комплементарными друг другу. Эти концы могут вновь соединяться, поэтому их называют «липкими концами». Если взять ДНК, например, человека и моркови, обработать одной и той же рестриктазой и смешать, то фрагменты ДНК моркови и человека будут соединяться липкими концами. Но такая связь будет непрочной: водородные связи между всего лишь четырьмя парами оснований могут легко разойтись. Слипшиеся фрагменты ДНК можно зафиксировать, если добавить в раствор ДНК-лигазу (второй по значимости фермент ГИ), сшивающую цепи ДНК, разрезанные рестриктазой. В результате получится стабильная рекомбинантная ДНК.

Встраивание рекомбинантной ДНК в вектор



Далее необходимо сохранить и размножить полученные рекомбинантные молекулы. С этой целью их встраивают в специальные конструкции, называемые *векторными молекулами ДНК*, или *векторами*. Обычно векторы конструируют из бактериальных плазмид. Типичный вектор включает:

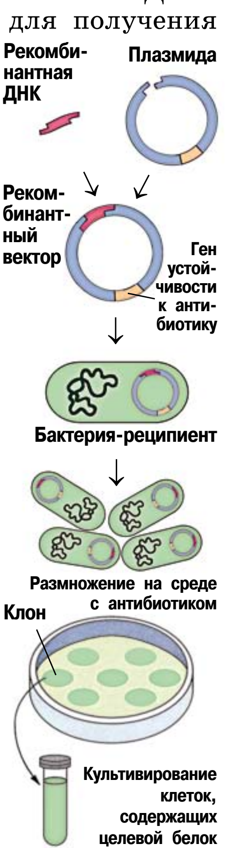
1. Сайт узнавания определенной рестриктазой для встраивания в вектор целевой ДНК.

2. Ген устойчивости к одному из антибиотиков для последующего отбора клеток, получивших рекомбинантный вектор.

3. Особую последовательность нуклеотидов ДНК, обеспечивающую репликацию вектора в клетках кишечной палочки, независимую (автономную) от репликации хромосомной ДНК.

Приведем пример использования вектора для получения штамма кишечной палочки, продуцирующей целевой белок. Для встраивания в вектор смесь фрагментов целевой ДНК (с геном, кодирующим целевой белок) и ДНК вектора обрабатывают сначала одной и той же рестриктазой, затем ДНК-лигазой. В результате образуется рекомбинантный вектор. Для размножения его вводят в клетки кишечной палочки или дрожжей. На поверхности твердой питательной среды с антибиотиком каждая клетка, несущая рекомбинантный вектор, размножается и образует колонию из одинаковых клеток — клон. Каждая клетка-родоначальница клона получила одну молекулу рекомбинантного вектора, которая реплицируется и передается всем клеткам колонии. Поэтому такую процедуру называют молекулярным клонированием.

Первой реакцией научной общественности на создание ГИ-технологии было введение ограничений на эксперименты с рекомбинантными ДНК. Ученые полагали, что объединение генов разных организмов может привести к появлению нового организма с нежелательными или даже опасными свойствами. Прошло несколько лет, и исследователи убедились, что



Типичная последовательность ГИ работ

их опасения сильно преувеличены. Микроорганизмы, измененные с помощью генно-инженерных манипуляций, во внешней среде не выдерживают конкуренции, поскольку значительную часть своих ресурсов они затрачивают на синтез целевого белка, в ущерб собственной конкурентоспособности.

Достижения ГИ. С развитием ГИ ученые получили возможность синтезировать, выделять, комбинировать и перемещать гены и любые другие фрагменты ДНК. ГИ внесла революционный вклад в развитие многих биологических дисциплин: молекулярной биологии, микробиологии, вирусологии, цитологии, эмбриологии, медицинской генетики и генетики человека. Появилась ранее недоступная возможность изучения молекулярной организации геномов (в том числе высших эукариот), что привело к возникновению *геномики* — раздела генетики, изучающего структурную организацию и функционирование геномов.

ГИ-методы позволили реализовать программы секвенирования (определения полных нуклеотидных последовательностей ДНК) геномов многих организмов. Уже секвенированы ДНК сотен видов бактерий, дрожжей, плазмодия, риса, кукурузы, картофеля, дрозофилы, мыши; завершена международная программа «Геном человека».

Для чего же нужно секвенирование геномов? Одна из основных задач — выяснить строение генома и его работу как единого целого. Полная нуклеотидная последовательность — это предварительная карта генома организма. В первоначальном виде это просто длинная последовательность нуклеотидов, ни о чем не говорящая. Для того чтобы с ней можно было работать, в ней выявляют гены, регуляторные элементы, мобильные элементы и другие последовательности ДНК, функция которых еще не известна. Для медицинской генетики важно нанести на нуклеотидную карту гены, ответственные за различные болезни, чтобы разрабатывать методы молекулярной диагностики, искать способы лечения и предотвращения заболеваний. На карту человека уже нанесены многие гены наследственных заболеваний.

Генная терапия наследственных заболеваний человека. Развитие этой перспективной области стало возможным после секвенирования генома человека. Генная терапия включает следующие этапы:

1. Получение клеток от больного (в генной терапии разрешено использовать только соматические клетки человека).

2. Введение в клетки лечебного гена для исправления генетического дефекта.

3. Отбор и размножение «исправленных» клеток.

4. Введение «исправленных» клеток в организм пациента.

Впервые успешно применить генную терапию удалось в 1990 г. Четырехлетней девочке, страдающей тяжелым иммунодефицитом

(дефект фермента аденозиндезаминазы), были введены собственные лимфоциты со встроенным нормальным геном аденозиндезаминазы. Лечебный эффект сохранялся в течение нескольких месяцев, после чего процедуру пришлось регулярно повторять, поскольку исправленные клетки, как и другие клетки организма, имеют ограниченный срок жизни. В настоящее время генную терапию используют для лечения более десятка наследственных заболеваний, в т. ч. гемофилии, талассемии, муковисцидоза.

Метод полимеразной цепной реакции (ПЦР). Для получения целевой ДНК в достаточных для работы количествах в ГИ широко используется метод ПЦР, разработанный в 1985 г. Метод позволяет размножить в миллионы раз любой участок ДНК размером до 5 тысяч пар нуклеотидов (см. с. 142). Первым практическим использованием ПЦР была разработка тест-системы для диагностики серповидноклеточной анемии (нарушенные участки ДНК размножали до обнаружимых при электрофорезе количеств). С помощью ПЦР получают фрагменты ДНК для клонирования, секвенируют целевые ДНК, выявляют патогенные вирусы или бактерии, а также наследственные заболевания и аномалии. В судебной медицине ПЦР используют для идентификации личности, для установления родственных связей. В настоящее время метод ПЦР стал обыденной процедурой, повседневно используемой в тысячах лабораторий.

Таким образом, разработка методов ГИ и ПЦР привела к бурному прогрессу в биологии, но самые глубокие преобразования произошли в биотехнологии.

Биотехнология — *отрасль науки, занимающаяся промышленным использованием биологических процессов и живых организмов для производства лекарств и вакцин, сельскохозяйственных и потребительских продуктов.*

Биотехнологические процессы люди использовали издревле, занимаясь хлебопечением, виноделием, пивоварением, приготовлением кисломолочных продуктов. Сущность этих процессов была выявлена лишь в XIX в. после научных открытий Л. Пастера. Работы ученого послужили развитию различных производств с использованием микроорганизмов.

В конце 1970-х гг. на стыке традиционной биотехнологии и ГИ возникла молекулярная биотехнология. В ее основе лежит процедура переноса генов из одного организма в другой посредством методов ГИ с целью создания принципиально нового продукта или промышленного производства уже известного продукта. Первая фирма, производящая лекарственные соединения с помощью методов ГИ, была создана в 1976 году.

Производство лекарственных препаратов. Микроорганизмы после введения соответствующих генов становятся продуцентами ценных для медицины белков. В биореакторах на специальных

питательных средах выращивают бактерии; грибы; дрожжи, продуцирующие антибиотики; ферменты; гормоны; витамины и другие биологически активные соединения. Например, клетки кишечной палочки служат биологическими фабриками по производству человеческого инсулина. До 1982 г. инсулин получали весьма трудоемким способом из поджелудочной железы свиней и обеспечивали только 10 % больных сахарным диабетом. С 1982 г. этой работой «занимается» кишечная палочка и обеспечивает инсулином десятки миллионов больных по всему свету (в том числе и тех, у кого аллергия на животный инсулин). Кишечная палочка производит человеческий гормон роста соматотропин (ранее его получали из трупного материала).

Противовирусный препарат интерферон в организме человека вырабатывается в крайне незначительных количествах. После выявления аминокислотной последовательности интерферона ген был искусственно синтезирован и встроен в вектор, затем вектор ввели в клетки бактерии и получили штамм-продуцент интерферона.

Производство генно-инженерных вакцин. Традиционные вакцины изготавливаются из вирусов, инактивированных нагреванием или химическим воздействием. Иногда вирус остается жизнеспособным и может при вакцинации вызвать заболевание. Применение ГИ-вакцин не имеет такого недостатка. Например, создан продуцент белка поверхностной капсулы вируса гепатита. Этот белок достаточен для выработки в организме человека иммунитета против вируса гепатита, и такая вакцинация не в вызовет инфекцию. В настоящее время активно ведутся генно-инженерные разработки вакцины против СПИДа.

Производство ГИ-микроорганизмов, способных расти на несвойственных для них средах, открывает ряд новых возможностей. Такие микроорганизмы используют для биологической очистки окружающей среды (в т.ч. от нефти и нефтепродуктов). На отходах производства нефтепродуктов, гидролизатах древесины, на метаноле, этаноле, метане успешно культивируют дрожжи. Использование их в качестве кормового белка (дрожжи содержат до 60 % белка) позволяет получать дополнительно до 1 млн т мяса в год. Ведутся работы по созданию микроорганизмов, производящих ацетон, спирт и другие горючие материалы на отходах сельского хозяйства, лесной и деревообрабатывающей промышленности, а также на сточных водах. В будущем, при истощении ресурсов нефти, этот путь получения горючих веществ может оказаться весьма актуальным. Созданы установки, в которых бактерии перерабатывают навоз в биогаз. Из 1 т навоза получают 500 $м^3$ биогаза, что эквивалентно 350 л бензина.

Биотехнология растений. Получены формы растений с ускоренным ростом, большей массой плодов, увеличенной про-

должительностью хранения плодов; устойчивые к гербицидам, к патогенным вирусам и грибам, к вредным насекомым, а также к засухе и засоленности почв. Растения продуцируют для человека вакцины, фармакологические белки и антитела. Например, внедрение гена биосинтеза каротина в геном риса позволило вывести «золотой» рис, богатый этим ценным для человека провитамином.

В природе существует бактерия Bacillus thuringiensis, вырабатывающая эндотоксин белковой природы, действующий на насекомых. Ген, кодирующий этот токсин, был выделен и встроен в ДНК картофеля. Такой картофель личинки колорадского жука в пищу употреблять не могут. Аналогичным образом удалось получить устойчивые к сельскохозяйственным вредителям трансгенные формы хлопка, кукурузы, томатов и рапса. После внедрения в геном винограда гена морозоустойчивости от дикорастущей капусты брокколи трансгенный виноград стал морозоустойчивым. Эта процедура заняла всего год. Обычно на выведение новых сортов винограда уходит 25—35 лет.

Существенные посевные площади заняты под трансгенные растения в США (68 % мировых посевов трансгенных культур), Аргентине (22 %), Канаде (6 %) и Китае (3 %). В основном выращивают трансгенную сою (62 %), кукурузу (24 %), хлопок (9 %) и рапс (4 %).

Большое значение в сельском хозяйстве имеет производство незаменимых аминокислот, не синтезирующихся в организмах животных. В традиционных кормах их недостаточно, поэтому приходится увеличивать количество пищи. Добавление в пищу 1 т синтезированной микробиологическим путем аминокислоты лизин экономит десятки тонн кормов.

Биотехнология животных. Получение трансгенных животных начинают с создания генетических конструкций, в которых целевой ген находится под контролем промотора, активного в определенной ткани организма, например в клетках молочной железы. Такую конструкцию вводят в оплодотворенную яйцеклетку и помещают животным для вынашивания. Выход здоровых животных пока невелик (менее 1 % эмбрионов), но ученые продолжают исследования. Получены трансгенные коровы, овцы, козы, свиньи, птицы, рыбы.

От 20 трансгенных коров можно получить до 100 кг целевого белка в год. Именно столько белка, применяемого для предотвращения тромбов в кровеносных сосудах, требуется человечеству ежегодно. Для получения необходимого людям белка-фактора свертывания крови (его применяют для повышения свертываемости крови у больных гемофилией) достаточно одной трансгенной коровы.

Актуально создание пород домашних животных, устойчивых к паразитам, бактериальным и вирусным инфекциям. Встраивая гены устойчивости к наиболее распространенным заболеваниям, можно значительно сэкономить на вакцинах и сыворотках (до 20 % от стоимости конечного продукта).

Трансгенных млекопитающих используют в качестве модельных систем для поиска способов лечения наследственных заболеваний человека. На мышах отрабатывают методы борьбы со СПИДом, муковисцидозом, болезнью Альтцгеймера, на кроликах — с онкологическими заболеваниями.

Выводы. В результате применения биотехнологии появились бактерии, растения, животные, которые являются естественными биореакторами. Они продуцируют новые или измененные генные продукты, которые не могут быть созданы традиционными методами скрещивания, мутагенеза и селекции. Кроме того, молекулярная биотехнология дает принципиально новые методы диагностики и лечения различных заболеваний. Однако в ряде случаев рекламируемые перспективы оказываются преувеличенными и не всегда соответствуют реальным возможностям биотехнологии.

Сорта, полученные методами классической селекции, менее впечатляющи, но имеют свои достоинства, они более устойчивы и надежны в использовании. Если классическая селекция остается в естественных природных рамках, то современные технологии, оперируя на уровне клеток, хромосом и отдельных генов, выходят за пределы природных закономерностей. Эти методы используют природные компоненты (клетки, гены и т. д.), но комбинируют их произвольно. Возможные побочные эффекты во многих случаях трудно предсказуемы. Необходимы длительные эксперименты на животных и растениях и серьезные исследования. Известно негативное отношение СМИ и широких слоев общественности в разных странах к продукции молекулярной биотехнологии — генно-модифицированным (ГМ) продуктам. Вместе с тем становится все более понятным, что использование методов ГИ — один из возможных путей обеспечения продуктами питания стремительно возрастающего населения планеты. Для определения возможных границ использования методов ГИ важно разобраться и в нравственных аспектах вторжения человека в мир Божий.



1. Какие два фермента наиболее важны для ГИ?
2. Для чего нужен метод ПЦР?
3. Каковы основные этапы генно-инженерных работ?
4. Назовите основные направления биотехнологии.
5. В чем достоинство классической селекции по сравнению с новейшими методиками?

Раздел IV
Происхождение жизни



Популяционно-видовой уровень

Глава 9. ИЗМЕНЕНИЯ В ПОПУЛЯЦИЯХ И ПРИСПОСОБЛЕННОСТЬ ОРГАНИЗМОВ

Созданные Творцом формы организмов удивительным образом приспособлены к различным климатическим условиям и к питанию самой разнообразной пищей. Одни из них обитают в сухих жарких пустынях, другие — в водах северных морей. Одни населяют глубины океанов, другие парят высоко над землей. Небольшие по размеру пираньи — грозные хищники, а громадные слоны питаются исключительно растительной пищей.

Природные условия подвержены переменам, организмы осваивают территории с иным климатом, населенные другими существами, занимают новые экологические ниши, приспосабливаются к непривычной пище. В результате различных перемен меняется внешний вид, строение и внутренняя организация существ. Материалом для адаптивных изменений служит заложенная в организмах наследственная изменчивость.

§ 38. Многообразие органического мира. Классификация организмов

На Земле около 1,5 млн видов животных, более 0,5 млн видов растений, сотни тысяч видов грибов и множество микроорганизмов. Их классификацией — объединением в группы по сходству строения и жизнедеятельности — занимается биологическая дисциплина, зародившаяся в XVIII в. и называемая *систематикой*. Для ученых XVIII—XIX веков поиски системы в природе являлись прежде всего попыткой увидеть закономерности в плане Творца.

В настоящее время ученые выделяют две формы жизни.
Неклеточные формы жизни — вирусы.
Клеточные формы жизни включают:
Надцарство (или Империя) *Прокариоты*:
Царство *Археабактерии (Архей)*,
Царство *Истинные бактерии (Эубактерии)*,
Надцарство (или Империя) *Эукариоты:*
Царство *Протисты,*
Царство *Животные,*
Царство *Растения,*
Царство *Грибы.*

Надцарства Прокариоты и Эукариоты. Важнейший признак клетки — наличие или отсутствие отделенного от цитоплазмы ядра. Среди клеточных существ различают безъядерные (прокариоты) и ядерные (эукариоты). К прокариотам относят Истинные бактерии и Архебактерии, существенно различающиеся строением мембран и оболочки.

Цианобактерии (<греч. kyanos синий) относят к истинным бактериям. Они обладают признаками бактерий (прочные клеточные стенки, отсутствие отделенного от цитоплазмы ядра) и растений (осуществляют фотосинтез, выделяя кислород), поэтому цианобактерии иногда называют синезелеными водорослями. Они живут в виде отдельных клеток или объединяются в колонии с образованием нитей. Наличие различных пигментов придает им различную окраску от сине-зеленой, фиолетовой и красной до почти черной. Некоторые цианобактерии (например, спирулину) люди употребляют в пищу.

Разделение эукариот на царства представляет для современных ученых определенные трудности, в особенности при классификации низших (чаще одноклеточных) эукариот. Современная систематика все чаще ориентируется не только на морфофизиологические, цитологические, биохимические признаки организмов, но и на строение ДНК, РНК, отдельных генов.

Царство Протисты объединяет простейших (одноклеточных), одноклеточные водоросли и низшие грибы (стенки их клеток, как и у растений, построены из целлюлозы). Эти организмы, согласно гипотезе эволюции, — предки остальных трех царств эукариот.

В ряде классификаций все водоросли относят к царству Растения; в других классификациях царство Протисты вовсе отсутствует: низшие грибы относят к царству Грибы, одноклеточные водоросли — к царству Растения, а простейших — к царству Животные. В некоторых классификациях надцарство Эукариоты подразделяют более чем на 26 царств. Систематика является сегодня одним из самых спорных разделов биологии.

Среди главных причин разногласий ученые называют невыясненность основных механизмов эволюции, положенных в основу классификации.

Водоросли, по современным представлениям, являются сборной группой фототрофных организмов, ведущих преимущественно водный образ жизни. Приспособленностью к свету объясняется различная окраска водорослей. Спектральные компоненты солнечного света пронизывают воду на разную глубину. Красные лучи проникают лишь в верхние слои, а синие — значительно глубже. Для функционирования хлорофилла необходим красный свет, поэтому зеленые водоросли встречаются обычно на глубинах в несколько метров. Наличие пигмента, осуществляющего фотосинтез при желто-зеленом свете, позволяет бурым водорослям жить на глубинах до 200 метров. Пигмент красных водорослей использует зеленый и синий свет, поэтому красные водоросли населяют глубины до 268 метров. Из красных водорослей добывают полисахарид агар, используемый для изготовления мармелада, зефира и пастилы.

Царство *Грибы* объединяет гетеротрофные организмы, тело которых состоит из ветвящихся нитей (гиф), в совокупности образующих мицелий (грибницу). Грибы всасывают необходимые питательные вещества из окружающей среды (осмотрофное питание). Выделяя высокоактивные ферменты, грибы расщепляют (деполимеризуют) белки, нуклеиновые кислоты, целлюлозу, а затем всасывают образовавшиеся мономеры (аминокислоты, нуклеотиды, моносахариды). Царство грибов очень разнообразно, в него входят плесневые грибы и дрожжи, шляпочные грибы и трутовики.

Грибы обладают признаками животных и растений. Они не содержат хлорофилла и не способны к фотосинтезу, а подобно животным питаются готовыми органическими веществами. Конечным продуктом метаболизма азота, как и у животных, является мочевина. Запасное питательное вещество, как и у животных, — полисахарид гликоген (в растениях запасающую функцию выполняет обычно крахмал). Прочность клеточным стенкам большинства грибов, так же как покрову жуков и панцирю крабов, придает хитин (клеточные стенки низших грибов, относимых к протистам, состоят из целлюлозы). Прикрепленный образ жизни, неограниченный рост и способы размножения (в основном, спорами и грибницей, но для ряда грибов возможно половое размножение) сближают грибы с растениями. Любопытный симбиоз представляют собой лишайники. Их тело состоит из грибницы, в которой живут цианобактерии и водоросли.

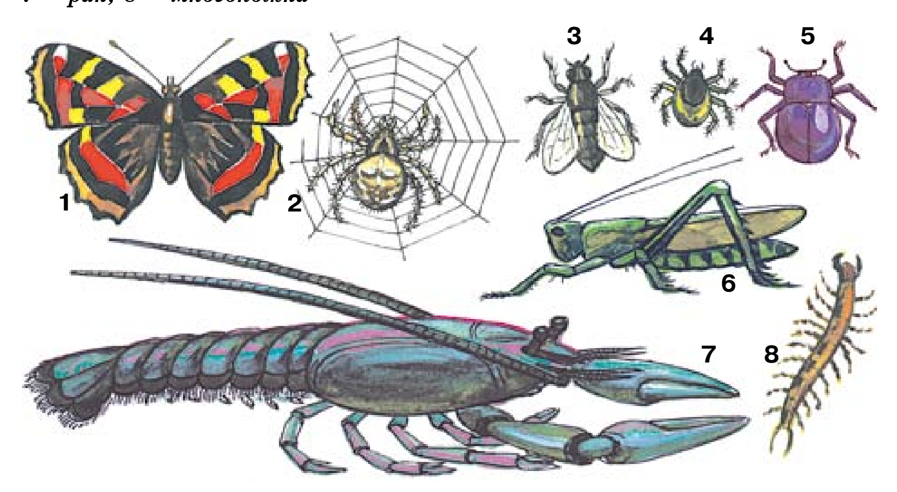
Царство *Растения* объединяет фотосинтезирующие организмы, выделяющие кислород и запасающие крахмал, имеющие

плотные клеточные стенки (обычно из целлюлозы). В царство растений входят 7 отделов: многоклеточные водоросли, мхи, плауны, хвощи, папоротники, голосеменные и покрытосеменные растения. Классификация проведена по ряду сходных признаков. Например, отдел покрытосеменных выделен по признаку наличия цветка и защищенного плодом семени. Высшие растения характеризуются разделением тела на органы (корень, стебель, лист). Тело низших растений не имеет разделения на органы, к ним относят, например, некоторые мхи.

Царство *Животные*. Существенным их отличием является подвижный образ жизни. Но этот критерий не абсолютный. Так, коралловые полипы — неподвижные животные, а эвглена и вольвокс — подвижные водоросли. В связи с необходимостью движения большинство клеток животных не имеет плотной наружной оболочки, их основное запасающее вещество — легкорастворимый гликоген, а не крахмал.

Царство животных объединяет беспозвоночных и хордовых. Подцарство многоклеточных беспозвоночных включает 6 типов: кишечнополостные; плоские, круглые и кольчатые черви; моллюски и членистоногие. Тип членистоногих объединяет 3 класса: ракообразные, паукообразные и насекомые — эти существа имеют сегментарные конечности. Тип хордовых состоит из 3 подтипов: оболочники, бесчерепные и черепные (позвоночные). В подтип позвоночных входит 7 классов: круглоротые, надкласс рыб (классы хрящевых и костных), земноводные, пресмыкающиеся, птицы и млекопитающие. *Классы* последовательно подразделяются на *отряды*, *семейства*, *роды* и *виды*.

Представители типа членистоногих:
1 — бабочка, 2 — паук, 3 — муха, 4 — клещ, 5 — жук, 6 — кузнечик, 7 — рак, 8 — многоножка



Основы современной классификации заложил выдающийся шведский натуралист Карл Линней. В своей работе «Система природы» (1775 г.) он описал около 8000 видов растений, 4 000 видов животных. Линней определял вид как совокупность особей, сходных между собой по строению и дающих при скрещивании плодовитое потомство. Подчеркивая неизменность исходных сотворенных видов, Линней указывал: «Видов столько, сколько различных форм создал в начале мира Всемогущий». Группы похожих видов, по Линнею, входят в один предковый род: «И сказал Бог: да произведет земля душу живую по роду ее, скотов, и гадов, и зверей земных по роду их» (Быт. 1,24). Классификационное понятие рода при этом совпадает с библейским.

В основу систематики ученый положил принцип иерархичности *таксонов* (единиц классификации организмов): сходные виды он объединил в роды, роды — в отряды, а отряды — в классы. В наименовании организмов Линней установил *бинарную* (двойную) *номенклатуру*: название каждого существа стало состоять из двух латинских слов, первое писалось с большой буквы и указывало родовую принадлежность (существительное), второе — видовую (прилагательное). Например, латинское название степного сурка байбака — Marmota bybak. В разных местностях этот вид сурков именуют по-разному: свистун, сугур и т. д. Единая номенклатура существенно облегчила взаимопонимание ученых разных стран, заменив прежние многословные описания видов. В дальнейшем система была дополнена категориями семейства, подкласса, подтипа, типа. Так, кошка домашняя (Felis domestica) входит в род мелких кошек семейства кошачьих отряда хищных класса млекопитающих подтипа позвоночных типа хордовых. Кроме домашней кошки род мелких кошек включает амурского лесного кота, камышового кота, рысь. Подход Линнея революционизировал биологию, открыв новые возможности систематизации растительного и животного мира.

В системе Линнея виды образуют восходящую последовательность организмов от низших к высшим, но они не связаны эволюционным родством. Возможность систематизации организмов рассматривалась Карлом Линнеем как следствие существования единого плана сотворения мира. По убеждению Линнея, наличие анатомических сходств у разных видов свидетельствует о том, что Конструктор использовал типовые конструкции.



1. Назовите формы жизни и надцарства организмов.
2. Охарактеризуйте четыре царства эукариот.
3. Какой принцип лежит в основе классификации организмов?
4. Чем объяснял Линней возможность классификации организмов? С какой классификационной единицей Линней отождествил библейское понятие рода?

§ 39. Вид. Критерии вида

Различить надвидовые таксоны, как правило, довольно легко, но четкое разграничение самих видов встречает определенные трудности. Часть видов занимает географически разделенные области обитания (ареалы) и потому не скрещивается, а в искусственных условиях дает плодовитое потомство. Линнеевское краткое определение вида как группы особей, свободно скрещивающихся между собой и дающих плодовитое потомство, неприменимо к организмам, размножающимся партеногенетически или бесполым путем (бактерии и одноклеточные животные, многие высшие растения), а также к вымершим формам.

Совокупность отличительных признаков вида называют его *критерием*.

Морфологический критерий основан на сходстве особей одного вида по комплексу признаков внешнего и внутреннего строения. Морфологический критерий — один из основных, но в ряде случаев морфологического сходства оказывается недостаточно. Малярийным комаром ранее называли шесть не скрещивающихся похожих видов, из которых только один разносит малярию.

Существуют так называемые виды-двойники. Два вида черных крыс, внешне практически неразличимых, живут раздельно и не скрещиваются. Самцы многих существ, например птиц (снегирей, фазанов), внешне мало похожи на самок. Взрослые самец и самка нитехвостого угря так непохожи, что ученые полвека помещали их в разные роды, а иногда даже в разные семейства и подпорядки.

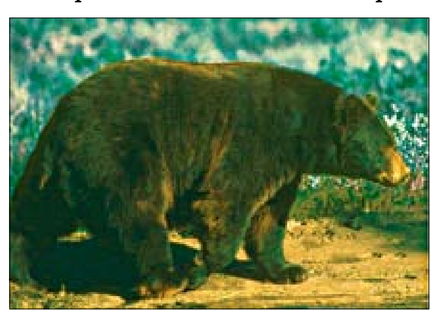
Физиолого-биохимический критерий. В его основе лежит сходство процессов жизнедеятельности особей одного вида. Часть видов грызунов обладает способностью впадать в спячку, у других она отсутствует. Многие близкие виды растений различаются по способности синтезировать и накапливать определенные вещества. Биохимический анализ позволяет различить виды одноклеточных организмов, не размножающихся половым путем. Бациллы сибирской язвы, например, вырабатывают белки, которые не встречаются у других видов бактерий.

Возможности физиолого-биохимического критерия имеют ограничения. Часть белков обладает не только видовой, но и индивидуальной специфичностью. Существуют биохимические признаки, одинаковые у представителей не только разных видов, но даже отрядов и типов. Сходным образом могут протекать у разных видов и физиологические процессы. Так, интенсивность обмена веществ у некоторых арктических рыб такая же, как у других видов рыб южных морей.

Генетический критерий. Все особи одного вида обладают сходным кариотипом. Особи разных видов имеют разные хромосомные наборы, не могут скрещиваться и живут в естественных условиях отдельно друг от друга. У двух видов-двойников черных крыс разное количество хромосом — 38 и 42. Кариотипы шимпанзе, горилл и орангутанов различаются расположением генов в гомологичных хромосомах. Аналогичны отличия кариотипов зубра и бизона, имеющих в диплоидном наборе по 60 хромосом. Различия в генетическом аппарате некоторых видов могут быть еще более тонкими и состоять, например, в разном характере включения и выключения отдельных генов. Применение только генетического критерия иногда оказывается недостаточным. Один вид долгоносика объединяет диплоидные, триплоидные и тетраплоидные формы, домовая мышь также имеет различные наборы хромосом, а ген ядерного белка-гистона H1 человека отличается от гомологичного ему гена гороха всего одним нуклеотидом. В геноме растений, животных и человека обнаружены такие изменчивые последовательности ДНК, что по ним у людей можно различать братьев и сестер.

Репродуктивный критерий (<лат. reproducere воспроизводить) основан на способности особей одного вида давать плодовитое потомство. Важную роль при скрещивании играет поведение особей — брачный ритуал, видоспецифические звуки (пение птиц, стрекотание кузнечиков). По характеру поведения особи узнают брачного партнера своего вида. Особи сходных видов могут не скрещиваться по причине несоответствия поведения при спаривании или несовпадения мест размножения. Так, самки одного вида лягушек мечут икру по берегам рек и озер, а другого — в лужах. Похожие виды могут не скрещиваться из-за различия брачных периодов или сроков спаривания при обитании в разных климатических условиях. Разные сроки цветения у растений препятствуют перекрестному опылению и служат критерием принадлежности к разным видам.

Бурые и белые медведи — разные виды, они занимают разные ареалы и встречаются только в зоопарке





Репродуктивный критерий тесно связан с генетическим и физиологическим критериями. Жизнеспособность гамет зависит от осуществимости конъюгации хромосом в мейозе, а значит, от сходства или различия кариотипов скрещивающихся особей. Резко понижает возможность скрещивания различие в суточной физиологической активности (дневной или ночной образ жизни).

Применение только репродуктивного критерия не всегда позволяет четко разграничить виды. Существуют виды, хорошо различимые по морфологическому критерию, но дающие при скрещивании плодовитое потомство. Из птиц это некоторые виды канареек, зябликов, из растений — разновидности ив и тополей. Представитель отряда парнокопытных бизон обитает в степях и лесостепях Северной Америки и никогда в естественных условиях не встречается с зубром, обитающим в лесах Европы. В условиях зоопарка эти виды дают плодовитое потомство. Так была восстановлена популяция европейских зубров, практически истребленная во время мировых войн. Скрещиваются и дают плодовитое потомство яки и крупный рогатый скот, белые и бурые медведи, волки и собаки, соболи и куницы. В царстве растений межвидовые гибриды встречаются еще чаще, среди растений существуют даже межродовые гибриды.

Эколого-географический критерий. Большинство видов занимает определенную территорию (ареал) и экологическую нишу. Лютик едкий растет на лугах и полях, в более сырых местах распространен другой вид — лютик ползучий, по берегам рек и озер — лютик жгучий. Сходные виды, обитающие в одном ареале, могут различаться экологическими нишами — например, если питаются различной пищей.

Применение эколого-географического критерия ограничено рядом причин. Ареал вида может быть прерывист. Видовой ареал зайца-беляка — острова Исландия и Ирландия, север Великобритании, Альпы, север Европы и Азии. Некоторые виды имеют одинаковый ареал, например два вида черных крыс. Есть организмы, распространенные почти повсеместно, — многие сорные растения, ряд насекомых-вредителей и грызунов.

Проблема определения вида иногда вырастает в сложную научную задачу и решается с привлечением комплекса критериев. Таким образом, *вид — совокупность особей, занимающих определенный ареал и обладающих единым генофондом, обеспечивающим наследственное сходство морфологических, физиолого-биохимических и генетических признаков, в природных условиях скрещивающихся и дающих плодовитое потомство.*



1. Покажите недостаточность краткого определения вида.
2. Охарактеризуйте пять основных критериев вида.
3. Сформулируйте краткое и полное определение вида.

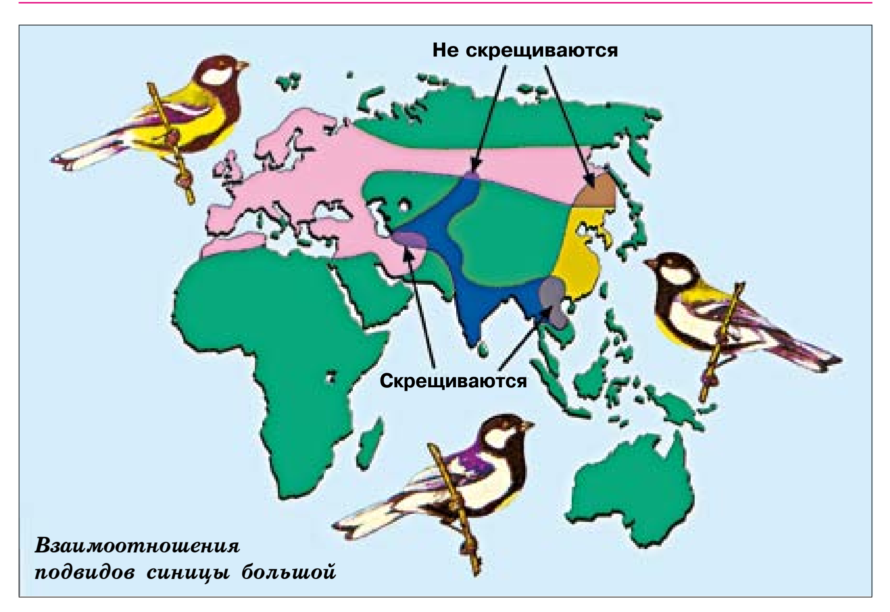
§ 40. Популяции

Группы особей одного вида, населяющие территории, разделенные естественными преградами (реками, горами, пустынями), являются относительно самостоятельными, поскольку скрещивание между ними затруднено. Такие группы называют *популяциями* (термин ввел в 1903 г. датский ученый В. Иогансен, для того чтобы отличать генетически разнородную группу особей от однородной чистой линии). Вид, таким образом, состоит из популяций, каждая из которых занимает часть ареала вида. За многие поколения в генофондах популяций накапливаются те аллели исходных популяций, которые обеспечивают наибольшую приспособленность к местам обитания. Вследствие различий в исходном генном составе и обитания в разных природных условиях генофонды изолированных популяций отличаются частотой встречаемости аллелей, поэтому один и тот же признак в разных популяциях может проявляться по-разному. Так, северные популяции млекопитающих имеют более густой мех, а южные — более темный.

Согласно Писанию, организмы, как и сама планета, созданы Творцом. Однако их природа изменчива. Чтобы понять, какие основные группы сотворены, а какие могли появиться впоследствии, необходимо исследовать степень изменчивости организмов. Подтверждают ли наблюдаемые изменения гипотезу *эволюции* (<лат. evolutio развертывание) — *исторического саморазвития материи*? Ученые различают микро- и макроэволюцию. Под *микроэволюцией* понимаются изменения в популяциях в ряду последовательных поколений вплоть до появления новых видов, происходящие за относительно короткий промежуток времени (иногда их наблюдают в природе). Под *макроэволюцией* подразумевают гипотезу длительного исторического саморазвития, приводящего к появлению надвидовых таксонов (родов, семейств, отрядов).

Рассмотрим два основных типа изоляции и обусловленные ими изменения.

Географическая изоляция. Организмы пространственно изолированных популяций могут развиваться различными путями. Особи разных популяций могут потерять возможность скрещиваться по причине возникших различий в сроках брачных периодов, в инстинктах сооружения гнезд и нор, в поведении в период спаривания. У особей может измениться брачная окраска (рыбы, птицы), брачные песни (птицы, земноводные, насекомые) или брачные танцы (птицы, рыбы, членистоногие). Растения разных популяций могут иметь различные периоды цветения, разные взаимоотношения с опыляющими насекомыми. Процесс расхождения признаков в популяциях носит название *дивергенции*. Причиной дивергенции при географической изоляции яв-



Взаимоотношения подвидов синицы большой

ляется как приспособление существ к разным условиям среды, так и различие в исходных генофондах (в новые популяции разные аллели генов попадают в разных соотношениях).

Популяции лиственницы сибирской заселили огромную территорию от Урала до Байкала. В зонах с наиболее суровыми климатическими условиями обитает вид лиственницы даурской. На Дальнем Севере произрастает вид мака с быстрым развитием коротких цветоносов и ранним цветением, не характерными для умеренных широт. Ученые предполагают, что эти виды развились от одного исходного, хотя, конечно же, этого никто не наблюдал, а проверить реальность подобных микроэволюционных изменений в большинстве случаев не представляется возможным.

Растение прострел широко распространено в Европе. У западной формы прострела листья тонкие, цветки поникшие. Восточная форма, обитающая в засушливых условиях, имеет более широкие листья и стоячие цветки, по которым вода стекает к корню. Между западным и восточным прострелом существует непрерывный ряд промежуточных форм, имеющих выраженный приспособительный характер.

Вид синица большая представлен тремя подвидами, обитающими в трех группах ареалов: евроазиатской, южноазиатской, восточноазиатской. Южноазиатские синицы в южной и восточной зонах контакта скрещиваются с двумя другими подвидами. Восточноазиатские и евроазиатские, обитая совместно в долине Амура, не скрещиваются. Ученые предполагают, что подвиды синиц сформировались в четвертичный период с наступлением оледенения.

Виды лютиков имеют различные места обитания

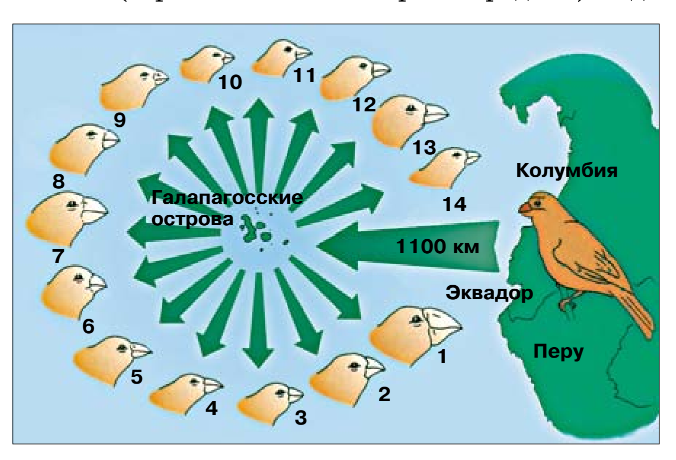


С оледенением связано, по мнению ученых, и возникновение родственных видов ландыша. Единый ареал вида, возможно, был разорван ледником на несколько изолированных частей. Ландыш, переживший оледенение, вновь широко распространился по всей лесной зоне, образовав в Европе новый более крупный вид с широким венчиком, а на Дальнем Востоке — вид с красными черешками и интенсивным восковым налетом на листьях.

В средней полосе произрастает около 20 видов лютика. Они занимают различные места обитания — луга, леса, берега рек и озер и т.д. Ученые предполагают, что вследствие изоляции лютики обособились сначала в подвиды, а затем — в виды.

На Галапагосских островах обитают птицы-вьюрки. Каждый вид имеет свои особенности. Например, большой земляной вьюрок питается семенами растений и имеет толстый массивный клюв, а дятловый вьюрок длинным прямым клювом достает из-под коры насекомых.

Формирование новых видов, связанное с географической изоляцией (разобщенностью), эволюционисты называют *аллопатрическим* (<греч. allos иной + patris родина) видообразованием.



По гипотезе Ч. Дарвина, вьюрки залетели на Галапагосские острова в далеком прошлом и образовали там множество видов

Виды синиц различаются пищевой специализацией



Экологическая изоляция. Другая причина, приводящая к дивергенции видов, — различие экологических ниш. Различия, например, в питании ведут к различиям в образе жизни и разобщенности особей.

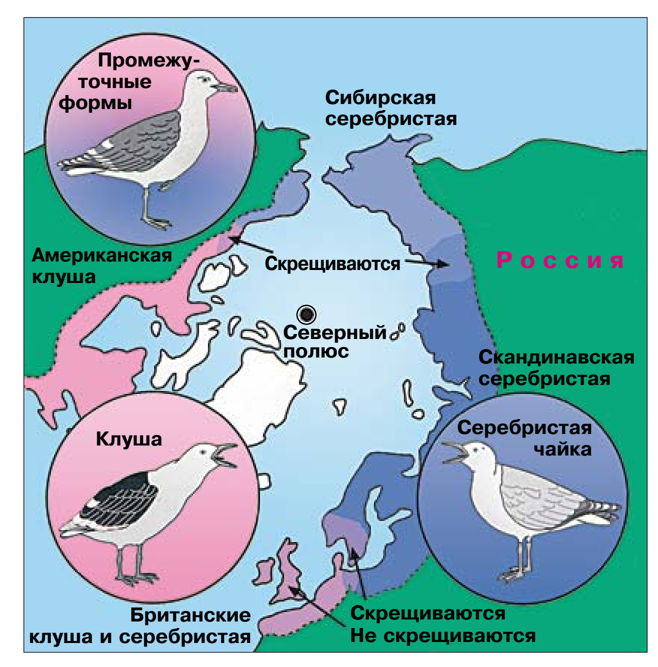
Вид окунь обыкновенный в крупных озерах образует две популяции. Одни окуни живут в прибрежной зоне, питаются мелкими животными и растут медленно, другие — обитают на большей глубине, питаются рыбой и икрой, растут быстро. Популяции форели нерестятся в устьях различных рек, поэтому спаривание между ними затруднено и развитие происходит изолированно (такую изоляцию можно также назвать и географической). Некоторые лососевые рыбы мечут икру раз в два года. В одно и то же нерестилище попеременно приходят на нерест разные популяции: одна — в четные годы, другая — в нечетные.

Виды летучих мышей различаются способом питания: одни — хищные, а другие плодоядные. Некоторые виды пираньи с мощными челюстями и острыми зубами питаются исключительно растениями. Панда похожа на бурого медведя, но питается в основном бамбуком, лишь изредка поедая животных. Среди видов крокодила одни охотятся на животных, другие питаются только рыбой, а некоторые ископаемые виды были растительноядными.

Пять видов синиц сформировались, как предполагают ученые, вследствие различной пищевой специализации. Синица хохлатая питается семенами хвойных деревьев, лазоревка добывает мелких насекомых из расщелин древесной коры, синица большая ловит крупных насекомых в городских садах и парках, а гаичка и московка — в лесах.

ноябрь – декабрь
январь – март
октябрь
май – август
октябрь – январь

Виды форели озера Севан имеют различные места и сроки нереста



Два подвида чаек — клуша и серебристая — образуют вокруг Северного полярного круга ряд форм. Британские клуша и серебристая, обитая совместно, не скрещиваются. В остальных районах соседние формы скрещиваются

Близкие виды обыкновенных европейских бабочек-белянок — капустница, репница и брюквенница — питаются на личиночной стадии различной пищей. Гусеницы капустницы и репницы поедают только культурные виды крестоцветных, а брюквенницы — дикие. Вид черный дрозд в настоящее время существует в двух формах. Одни дрозды селятся вблизи жилья человека, а другие — в глухих лесах. Эти два подвида внешне неразличимы.

По мнению ученых, некоторые виды растений в поймах крупных рек образовали виды, дающие семена до или после разлива. Виды, считающиеся исходными, растут на незаливаемых местах и опыляются, как правило, во время разлива.

Образование новых видов в прежнем ареале эволюционисты называют *симпатрическим* (<греч. sym вместе + patris родина) видообразованием. Предполагают, что симпатрическое видообразование может быть вызвано не только внешними условиями, но и изменением кариотипа. В результате в одном ареале возникают генетически изолированные популяции. В роде хризантем все виды имеют число хромосом, кратное 9: 18, 27... 90, в роде картофеля — кратное 12: 24, 48, 72. Предположение о симпатрическом видообразовании основано на морфологической близости возможных исходных видов и дочерних форм.

Справедливо заключить, что вариации признаков, а также относительно правдоподобные гипотезы видообразования ограничены пределами групп очень сходных существ.

Главное биологическое значение изменений в популяциях состоит в обеспечении жизнеспособности организмов при наиболее полном использовании пространства и пищевых ресурсов. По мнению православных ученых, способность к изменениям заложена Творцом и позволяет организмам расселяться по планете, заполняя различные экологические ниши в соответствии с Его планом, направленным не только на обеспечение жизнеспособности организмов. Неповторимая красота планеты, ее флоры и фауны, — тоже реализация Его плана, поэтому использование термина «эволюция» в значении саморазвития (без участия Бога) применительно к изменениям в популяциях не вполне правомерно.

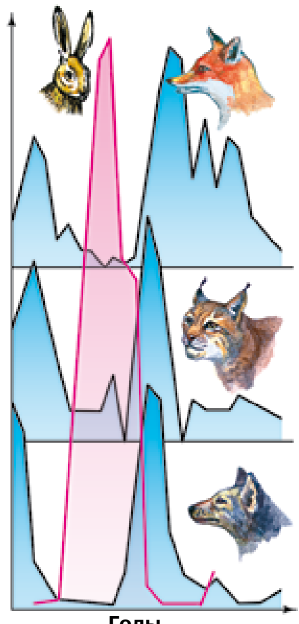
Закон Харди—Вайнберга. Рассмотрим бесконечно большую изолированную популяцию, скрещивания в которой происходят случайно (панмиксия), новые мутации не возникают, а особи с разными генотипами имеют одинаковую приспособленность.

Если в такой идеальной популяции частота встречаемости аллеля A будет p, то частота аллеля a будет $q=1-p$. Предположим, что все особи одновременно сформировали гаметы. Встречаемости разных гамет также будут p и q. После скрещивания встречаемость доминантных гомозигот будет $p^2=pp$ (обе гаметы должны нести аллель A), рецессивных гомозигот — q^2, а гетерозигот — $2pq=pq+qp$ (от «папы» — A, от «мамы» — a и наоборот). Таким образом, справедлив *закон Харди—Вайнберга: в идеальной популяции соблюдается неизменное соотношение между доминантными и рецессивными аллелями (соответственно между гомо- и гетерозиготами).* В аналитическом виде:

$$(pA+qa)\times(pA+qa)=(pA+qa)^2=p^2AA+2pqAa+q^2aa=1$$

Генетическая структура популяции станет неизменной уже после первого панмиксного скрещивания, ведь после того как гены оказались в гаметах, абсолютно неважно, какова была доля гомозигот среди родителей (так, если бы все люди высыпали содержимое своих кошельков в одну кучу, то стало бы неважно, сколько было монет у каждого, но важно лишь, сколько монет всего). Если, к примеру, в исходной популяции все особи были гомозиготами, половина — доминантными, другая — рецессивными, то в F_1: $\frac{1}{4}AA+\frac{1}{2}Aa+\frac{1}{4}aa$. Такая же структура F_1 будет и в случае, если все родители гетерозиготны.

Закон был открыт в 1908 г. английским математиком Дж. Харди и независимо от него немецким врачом Г. Вайнбергом. Пользуясь законом Харди—Вайнберга, можно узнать, какой процент людей имеет рецессивный ген по какому-нибудь наследственному заболеванию. Пусть встречаемость заболевания 1 %, то есть $q^2=0{,}01$, тогда $q=0{,}1$, а $p=0{,}9$. Встречаемость рецессивных носителей — $2pq=0{,}18$, то есть 18 % людей!



Популяционные волны численности

В природных популяциях действуют так называемые *факторы эволюции*: естественный отбор аллелей, мутации, изоляция, дрейф генов. Действие этих факторов нарушает равновесие, отвечающее закону Харди—Вайнберга.

Дрейф генов. Если сравнить генофонд популяции с кувшином, полным разноцветных горошин, то сокращение численности будет соответствовать случайной выборке горсти горошин (аналогичным образом далеко не все гаметы родителей реализуются в потомстве). В новой популяции будет иная цветовая пропорция горошин-генов, некоторых цветов вообще может не оказаться. Соотношение между встречаемостью гомо- и гетерозиготных особей изменится, произойдет *дрейф генов — случайное ненаправленное изменение частот аллелей в ряду поколений.* Наиболее отчетливо дрейф проявляется при резком сокращении численности популяции в результате пожара, засухи, морозов, а также при заселении частью особей новых территорий с образованием новой популяции.

В природе наблюдаются чередующиеся подъемы и спады численности особей — *популяционные волны* (тип дрейфа). Размножение хищников находится в тесной взаимосвязи с колебаниями количества белок, зайцев, мышей. У насекомых и однолетних растений наблюдаются сезонные популяционные волны.

При изучении мтхДНК (митохондрий) выяснилось, что у европейцев широкий спектр аллелей одного из генов, у населения северной р. Пинеги — всего несколько аллелей, а у малочисленных и долгое время изолированных лопарей и саамов — единственный аллель. Дрейф по мтхДНК особенно силен, поскольку митохондрии передаются лишь по материнской линии (с цитоплазмой). В маленькой популяции немногочисленные носители аллеля могут не передать его потомству, и тогда этот аллель из генофонда популяции выпадет. Вследствие дрейфа сокращается наследственная изменчивость, увеличивается однородность популяции.



1. Что называют микроэволюцией и макроэволюцией? Каков диапазон реально наблюдаемых изменений в популяциях?
2. Опишите изменения в популяциях при изоляции.
3. Сформулируйте закон Харди—Вайнберга.
4. Чем вызван дрейф генов, популяционные волны?

§ 41. Естественный отбор

Осетр выметывает по 2 млн икринок, но только незначительная часть мальков достигает зрелого возраста. В одном плоде кукушкиных слезок около 200 тыс. семян, но лишь ничтожная их часть дает начало новому растению. Пара слонов за всю свою жизнь (около 100 лет) рождает в среднем 6 слонят, их потомство теоретически способно за 800 лет образовать популяцию в 20 млн слонов. Наблюдается явное несоответствие теоретической репродуктивности существ и их реальной численности. Существа пожирают друг друга, гибнут от болезней, чрезмерно низких или высоких температур, им не хватает корма. Такая дисгармония в природе, если следовать Писанию, была не всегда, а появилась в мире после грехопадения первых людей в раю. Мир был сотворен «хорошо весьма» (Быт. 1,31). Толкователи обращают наше внимание на мысль Библии об отсутствии смерти и тления до грехопадения Адама (см. приложения).

Межвидовая борьба. Волки и лисы охотятся на зайцев. Успех одних означает неуспех других. Существование зайцев в свою очередь зависит от наличия корма. Сорняки вытесняют культурные растения, лишая их света, влаги и питательных веществ.

Два вида скальных поползней в местах перекрывания ареалов соперничают в добывании корма. В этих районах длина клюва и способ добывания пищи у поползней существенно различаются, а в неперекрывающихся зонах эти признаки у них одинаковы. Серые крысы крупнее и агрессивнее черных. В европейских поселениях человека серая крыса практически вытеснила черную. Привезенная из Европы в Австралию пчела вытесняет не имеющую жала маленькую туземную пчелу. Интенсивное размножение вида дрозда-дерябы привело в некоторых районах Шотландии к сокращению численности певчих дроздов.

Молодые ели на открытых местах вымерзают, а под защитой сосен, берез, осин — хорошо растут. Когда кроны подросших елей смыкаются, лишенный достаточного количества света подрост лиственных деревьев перестает развиваться.

Внутривидовая борьба. Принято считать, что внутривидовая борьба характеризуется особой интенсивностью из-за сходства потребностей особей одного вида. Расплодившимся хищникам не хватает жертв, размножившимся грызунам — растительных кормов. Но есть практика и групповых посевов растений, и стадного содержания (или природного обитания) животных, когда большая численность особей одного вида обеспечивает его процветание. Среди животных кроме соперничества наблюдается взаимопомощь и сотрудничество в совместном выкармливании, воспитании и охране потомства (например, в табунах лошадей или в пчелиных семьях).



Индустриальный меланизм у бабочек

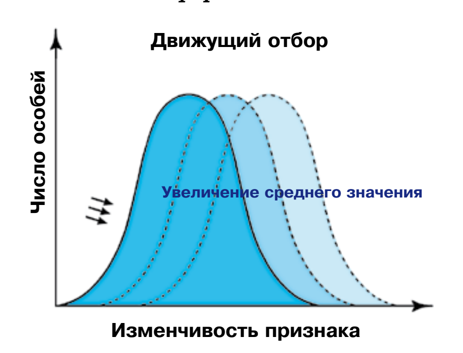
Особи каждого вида используют способы, позволяющие избежать прямого столкновения. Зяблики и синицы возвещают о занятии кормового участка песней, медведи обозначают его границы царапинами на деревьях, а зубры обдирают рогами часть коры. Соболи на подошвах лап имеют особые пахучие железы.

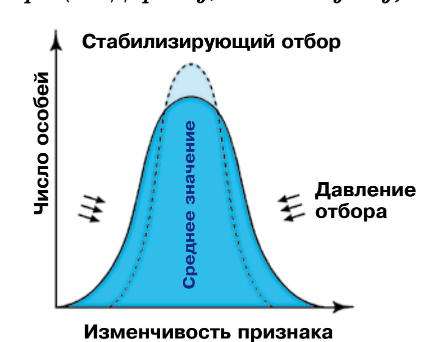
Борьба с неблагоприятными внешними условиями. Во время холодных малоснежных зим гибнет множество растений, вымерзают обитающие в почве насекомые, личинки, дождевые черви. В результате другие животные, например кроты, оказываются без пищи. В таких условиях выживают не самые крупные и сильные, а, наоборот, наиболее мелкие существа. Суровые и продолжительные зимы 1940-х гг. стали причиной уменьшения размера кротов.

Многие виды бабочек неиндустриальных районов имеют светлую окраску тела и крыльев. На светлых стволах, покрытых лишайниками, такие бабочки незаметны для птиц. В промышленных районах стволы покрываются сажей, лишайники гибнут, и в популяциях бабочек и других насекомых резко возрастает количество темноокрашенных (меланистических) особей.

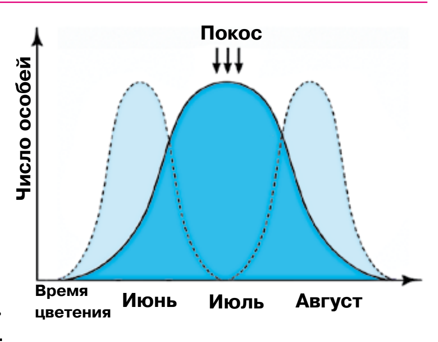
По эволюционной гипотезе, борьба существ между собой и с природными условиями играет определяющую роль в образовании видов, населяющих планету. Любопытно, что в Библии сказано об отсутствии такого противостояния в первозданном мире, противостояние возникло лишь с грехопадением первых людей, когда весь животный и растительный мир уже был создан. Гипотеза о последовательном формировании видов вследствие борьбы

Основные формы естественного отбора (по Дарвину, Шмальгаузену)





Пример действия дизруптивного отбора на цветковые растения



за существование противоречит целому ряду научных данных. Вероятно, существа были созданы уже приспособленными к внешним условиям с возможностью некоторых изменений в зависимости от среды обитания. В тех или иных условиях до некоторой степени варьируются их признаки. Все это, по-видимому, было предусмотрено Творцом и происходит по Его промыслу.

Один из основоположников гипотезы эволюции Чарльз Дарвин, утверждая, что виды создает естественный отбор (борьба за существование), говорил о его «творческой роли». По Дарвину, в процессе естественного отбора выживают и оставляют потомство преимущественно особи с полезными в данных условиях признаками, и в результате формируются новые виды, роды, отряды и т.д., материалом для естественного отбора при этом служит наследственная изменчивость. Гипотеза Дарвина, как мы с вами убедимся, изучая данный раздел, не нашла подтверждения.

С изменением внешних условий характер взаимодействия особей внутри вида и с особями других видов меняется. Естественный отбор может приводить к изменению адаптивных признаков в сторону большей приспособленности к новым условиям. В этом, по Дарвину, состоит *движущая роль* естественного отбора. Дарвин распространял действие движущего отбора на формирование совершенно новых существ, однако достоверные изменения не выходят за пределы групп очень сходных видов.

В настоящее время известно, что адаптивная изменчивость связана с вариациями только лишь меньшей, полиморфной части генома (см. с. 133—134) и не затрагивают жизненно

Варианты возможного действия отбора на галапагосских вьюрков

Движущий отбор | Стабилизирующий отбор | Дизруптивный отбор

важной мономорфной части, отвечающей за наиболее важные жизненные функции, комплекс которых и определяет вид как уникальное образование. Поэтому естественный отбор адаптивных изменений никак не может привести к каким-то существенным макроэволюционным сдвигам.

Если популяция, приспособившись к внешним условиям, находится в равновесии, то естественный отбор только стабилизирует ее генофонд. Особи с неблагоприятными отклонениями устраняются отбором. Выполняя *стабилизирующую роль*, естественный отбор благоприятствует распространению особей с признаками, близкими к среднему значению. Стабилизируются размеры тела и его частей у животных и растений, концентрация гормонов в крови позвоночных и др. Значение стабилизирующего отбора раскрыл в своих трудах российский ученый И. И. Шмальгаузен (1946 г.).

У насекомоопыляемых растений размеры и форма цветков стабильны. В слишком узкий венчик не проникнет, например, шмель, а слишком длинный может препятствовать бабочке доставать хоботком до тычинок. Во время одной из снежных бурь в Англии погибли воробьи с маленькими или слишком большими крыльями — в популяции получили распространение особи со средней длиной крыла. Стабилизирующую роль выполняют и хищные виды, уничтожая прежде всего ущербных особей.

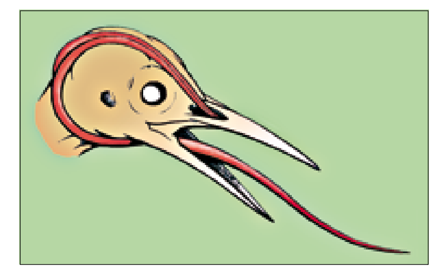


1. Как проявляется в природе борьба за существование? Что сказано святыми отцами о жизни и смерти животных до грехопадения первых людей?
2. Назовите три основных вида борьбы за существование.
3. Что называют естественным отбором? В чем состоят две его основные функции: движущая и стабилизирующая?

§ 42. Приспособленность видов к условиям существования

Все виды животных и растений наделены свойствами, позволяющими благополучно существовать в конкретных условиях. Рассматривая характерные приспособительные признаки различных видов, постараемся ответить на вопрос, могли ли они возникнуть сами по себе в процессе дарвинского естественного отбора или являются частью замысла Творца?

Форма и строение тела. Дельфины охотятся за рыбой и имеют обтекаемую форму, практически не образующую завихрений водных потоков даже при максимальной скорости движения (40—50 км/ч). Перья птиц идеально способствуют быстрому скольже-

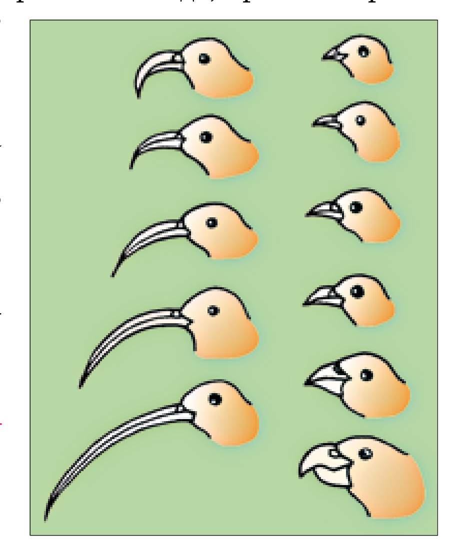


Язык дятла намного длиннее клюва

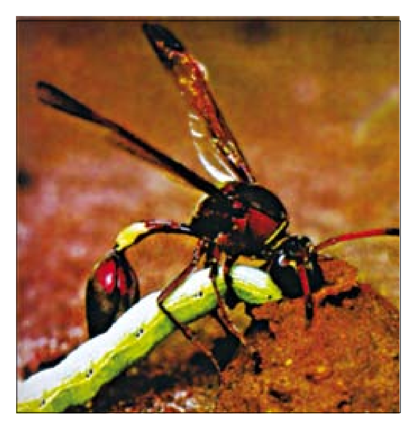
нию в воздухе с минимальным сопротивлением. Сокол-сапсан пикирует за добычей со скоростью до 290 км/ч. Антарктические пингвины развивают под водой скорость 35 км/ч.

Стрижи ловят насекомых на лету, у них длинные быстрые крылья и короткий широкий клюв. Дятлы добывают пищу из-под коры деревьев прочным клювом и длинным языком. Язык дятла сравним с размерами самой птицы. В его основании — пластичная ткань, начинающаяся у правой ноздри и оборачивающая всю голову птицы. Не менее удивительно устроен и череп дятла, сохраняющий от повреждений его мозг. У тропической рыбки четырехглазки верхние половинки глаз, выступающие над поверхностью воды, приспособлены к зрению на воздухе, а нижние — в воде. Нижняя часть овального хрусталика выпуклая, а верхняя — более плоская.

Забота о потомстве. Многие виды рыб не беспокоятся о своем потомстве, для сохранения вида они мечут огромное количество икры. Треска выметывает до 4 млн икринок и не охраняет их. Азовские и каспийские бычки откладывают икру в предварительно вырытые ямки и бдительно охраняют потомство. Самец другой рыбы — колюшки — строит гнездо из морских растений, скрепляя их серебристо-белыми нитями выделяемой слизи. Самец периодически подправляет гнездо, время от времени он забирается внутрь и тихо шевелит грудными плавниками, создавая ток свежей воды, необходимой для благополучного развития потомства. Самка колюшки откладывает в гнездо всего 120—150 икринок, но благодаря заботе самца это небольшое количество обеспечивает сохранение вида. Существуют рыбы, вынашивающие икру на брюхе (сом), на голове (куртус) или даже во рту (губан).



Форма и размер клюва у видов гавайских цветочниц приспособлены к типу пищи и способу ее добывания



Гончарная оса жалит гусеницу в девять нервных узлов, чтобы обездвижить ее, но не убить. Парализованную гусеницу оса помещает в вылепленное из глины гнездо для питания потомства

В этот период губаны ничего не едят. Мальки, пока не подрастут, держатся вблизи родителя и в случае опасности прячутся в его рот. У некоторых видов лягушек икринки развиваются в выводковой сумке на спине. Высшие позвоночные, как правило, бережно относятся к потомству, защищают от непогоды, выкармливают и охраняют детенышей.

Многие насекомые тоже заботятся о своем потомстве. Гончарные осы нападают на кузнечиков, сверчков, пауков, жуков, гусениц и, погружая жало в нервные узлы, обездвиживают животных, а затем откладывают яйца на их теле. Вылупившиеся личинки питаются тканями живой жертвы. Для питания потомства и для его охраны осы часто используют ядовитые виды, например тарантулов: организмы ос наделены веществом, нейтрализующим смертоносный яд этих пауков.

Физиологическая приспособленность. Крупные кактусы содержат до 2000 л воды, а в стеблях опунции даже после трехмесячной засухи сохраняется до 80 % воды. Пустынные животные перед наступлением засушливого сезона накапливают жир, при его расщеплении образуется большое количество воды.

Личинки пустынных видов земноводных, развивающиеся во временных водоемах, очень быстро совершают метаморфоз. Лягушки, обитающие в пустынях, охотятся только ночью, днем они прячутся в норы грызунов. Ночные хищники прекрасно видят в темноте. Некоторые змеи обладают тепловым зрением, различая объекты с разницей температур в 0,2 °С. Летучие мыши, совы и дельфины ориентируются в пространстве с помощью эхолокации. Чувствительность вкусовых рецепторов бабочки в 1000 раз выше чувствительности рецепторов человеческого языка.

Тюлени способны находиться под водой 40—60 минут и ны-



Поединок осы и тарантула

рять на глубину до 600 м. Что позволяет тюленям так долго обходиться без воздуха? В их мышцах содержится белок миоглобин, связывающий кислород в 10 раз эффективнее гемоглобина. Весенние ростки голубой перелески содержат в клеточном соке концентрированный раствор сахара и благополучно переносят отрицательные температуры.



Маскировка

Человеку необходима пресная вода, он не в состоянии пить морскую воду. Пресмыкающиеся и птицы, обитающие на морских просторах, имеют железы, выводящие избыток солей и позволяющие обходиться морской водой.

Предусмотрительное поведение. В неблагоприятный сезон многие существа впадают в спячку. Некоторые запасают корм. Распространенная в таежной зоне полевка-экономка собирает зерна, корешки, траву — всего до 10 кг кормов. Роющие грызуны натаскивают в норы до 14 кг зерна, степного горошка, картофеля, желудей. Пищухи (семейство зайцеобразных) заготавливают стожки травы весом до 20 кг.

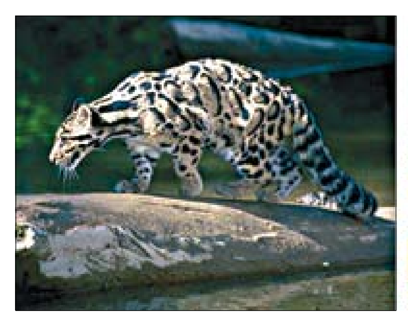
Покровительственная (защитная) окраска и форма. Определенная окраска и форма животных способствует их выживанию. Различают три типа этого приспособительного признака: *маскировка*, *предостерегающая окраска* и *мимикрия*.

Маскировка. Многие виды, живущие открыто, наделены окраской и формой, сходными с окраской и фоном окружающих объектов среды. Донные рыбы камбала и скат обычно окрашены под цвет морского дна. Рыба таласома в толще воды — темно-синяя, а на дне — желтая. Некоторые рыбы способны в течение нескольких секунд поменять 6—8 цветов. Хамелеон перераспределением пигмента способен подстраивать свою окраску под цвет окружающей среды. Прямо на глазах

Примеры маскировки








Расчленяющая окраска скрывает форму и величину животного

он может стать, например, из светло-зеленого — почти черным с белыми пятнами. Зайцы, песцы, горностаи и куропатки каждую зиму меняют темную маскировочную окраску на белую. Самка открыто гнездящихся птиц (глухарей, тетеревов, рябчиков, гаг), насиживающая яйца, пестротой перьев сливается с фоном растительности. Яйца этих птиц и птенцы имеют защитную пигментацию и незаметны для врагов. Скорлупа яиц крупных птиц-хищников и птиц, гнездящихся в недоступных местах, не имеет покровительственной окраски.

Многие животные Крайнего Севера имеют белую окраску. Пустынные существа окрашены в песчано-желтый или желто-бурый цвет. Зебры, тигры, жирафы и ряд змей имеют расчленяющую окраску с чередованием светлых и темных пятен, имитирующих естественное чередование пятен света и тени. Расчлененность скрывает истинную форму и размер животного.

Похожая на водоросли причудливая форма некоторых рыб скрывает их от врагов. Гусеницы ряда бабочек по форме и окраске напоминают сучки деревьев. Многие насекомые своей расцветкой и формой сходны с листьями растений.

Некоторые существа сочетают покровительственную окраску и форму с особым поведением. Выпь гнездится в камышах. В случае опасности она вытягивает шею, поднимает голову и замирает. Ее трудно различить даже с близкого расстояния. Тропическая рыба зайцеголовый иглобрюх во время опасности надувается и всплывает к поверхности раздутым брюшком вверх. Подвергшийся нападению опоссум лежит бездвижно с закрытыми глазами и вывалившимся из раскрытой пасти языком. Некоторые змеи тоже умеют притворяться мертвыми.

Предостерегающая окраска. Существа, наделенные средствами защиты, часто имеют яркую окраску. Они как бы предупреждают хищников: «Не трогай меня!» Предостерегающая окраска свойственна ядовитым, обжигающим или жалящим насекомым: пчелам, осам, гусеницам, а также ядовитым змеям. Божьи коровки выделяют ядовитый секрет, и птицы их не трогают.



Примеры покровительственной окраски и формы насекомых





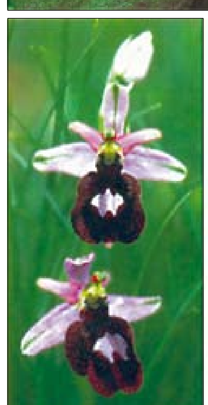
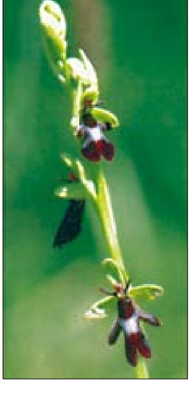

Мимикрия: оса и её подражатели

Клюнув осу, птица до полугода не трогает и похожих мух, потом она снова начинает склевывать осовидных мух, пока ей вновь не попадется оса. Предостерегающая окраска часто сочетается с демонстративным отпугивающим поведением.

Ярко окрашенная морская улитка эолис покрыта ядовитыми ворсинками. Удивительно, что жалящие (стрекательные) клетки она заимствует у растущих на морском дне актиний. В желудке эолис ядовитые клетки актиний не перевариваются, а по особым канальцам перемещаются к кожным выростам на спине улитки, откуда выстреливаются в того, кто попытается напасть на эолис. Морские обитатели предпочитают не прикасаться ни к актиниям, ни к улиткам.

Мимикрия (<греч. mimicros подражательный) заключается в подражании беззащитного организма хорошо защищенному и наделенному предостерегающей окраской или ядовитому существу. Неядовитые змеи бывают похожими на ядовитых. Съедобные бабочки подражают окраской ядовитым, мухи — осам, тараканы могут походить расцветкой на божьих коровок. Некоторые цикады, сверчки и личинки кузнечиков по форме напоминают муравьев.

Подражатели никогда не превосходят численностью вид-оригинал. По какой причине?

Орхидеи (слева) бывают очень сходны с опыляющими насекомыми (справа)

Оказывается, в их генофонде содержится много летальных мутаций, которые в гомозиготном состоянии вызывают гибель. Если бы подражателей было слишком много, предостерегающая окраска не имела бы смысла.

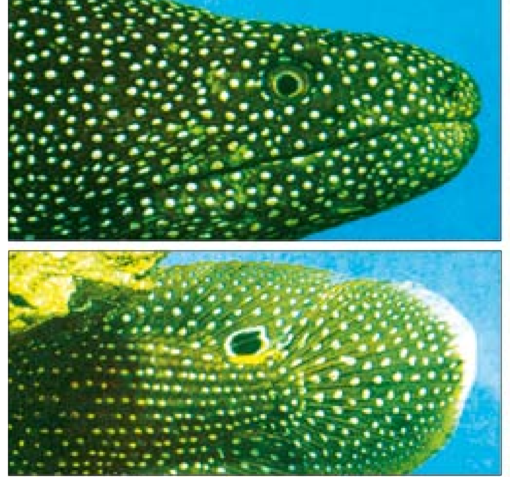
Встречается подражание, отличное от мимикрии. Яйца кукушки, например, очень похожи на яйца высиживающей их птицы другого вида, которая не в состоянии отличить их от собственных. Удивителен внешний вид некоторых орхидей. Они настолько похожи на опыляющих насекомых (даже запахом и опушением), что те принимают их за особей своего вида. Такое подражание помогает орхидеям успешно опыляться, а опыляющим насекомым — скрываться среди них от врагов.



Кто так угрожающе смотрит из темноты? Нападать или убегать? Как хищнику отличить жертву от врага?







Для отдыха мурена прячется в нору, но другие хищники не решаются приблизиться: им кажется, что мурена бодрствует

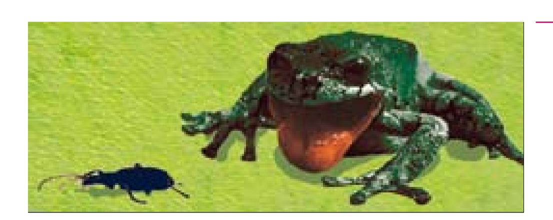


Ложная голова на хвосте гусеницы способна сбить с толку любого хищника





Ложные головы вводят в замешательство, отвлекают внимание хищников



«Тьфу! Какая гадость!» — жабе досталось от жука-бомбардира



Этого жука защищает прочный хитиновый покров и острые шипы

Приведем примеры и других приспособительных признаков. Жуки и крабы защищены хитиновым покровом, моллюски — твердыми раковинами, черепахи и броненосцы — панцирем, ежи и дикобразы — иглами. Растения имеют защитные колючки, шипы и обжигающие волоски. В вакуолях клеток некоторых растений вырастают кристаллы щавелевокислого кальция, предохраняющие растения от поедания гусеницами и грызунами.

Жук-бомбардир выстреливает в своего врага реактивной струей обжигающей смеси гидрохинона и перекиси водорода. В организме жука эти вещества не вступают в реакцию благодаря стабилизирующему действию специального соединения. Перед выстреливанием особый фермент активирует взаимодействие. Чтобы эта реакция протекала эффективно и была безопасна для самого жука, соотношение химических веществ соблюдается с неизменной точностью. Паук подадора не плетет сетей, он охотится на мух с помощью «лассо» — липкой капельки на длинной паутинке.

Удивительная сложность и целесообразность признаков окружающих нас организмов поражает воображение. Могли ли они появиться у существ сами по себе: расцветка крыльев бабочек, похожая на глаза животного, мимикрия осовидных мух и львиного зева, чужие ядовитые ворсинки улитки эолис или реактивные камеры жука-бомбардира? Удивительная приспособленность организмов к условиям существования подсказывает человеку мысль о созданности мира. По словам М. В. Ломоносова, «природа есть в некотором смысле Евангелие, благовествующее громко творческую силу, премудрость и величие Бога».



1. Перечислите основные приспособительные признаки.
2. Охарактеризуйте каждый признак.
3. Чем отличается предостерегающая окраска от мимикрии?
3. Могли ли в процессе естественного отбора улитки эолис постепенно научиться поедать и перемещать на спину ядовитые клетки актиний, а жуки-бомбардиры — вырабатывать, безопасно содержать и благополучно возжигать гремучую смесь?
4. Случайно ли сходство орхидей с насекомыми-опылителями?

Глава 10. ГИПОТЕЗА ЭВОЛЮЦИИ И СОТВОРЕНИЕ МИРА

В первых главах Книги Бытия сказано, что Вселенная, Земля и все на ней созданы Творцом в шесть дней сотворения мира. Об этом же свидетельствуют святые всех веков (см. приложения). По мере отхода общества от веры, в XIX в. стали набирать силу эволюционные воззрения о том, что жизнь появилась сама по себе в процессе исторического саморазвития материи — эволюции. Птицы и млекопитающие стали считаться развившимися из пресмыкающихся, пресмыкающиеся — из земноводных, земноводные — из рыб, а рыбы — из беспозвоночных форм.

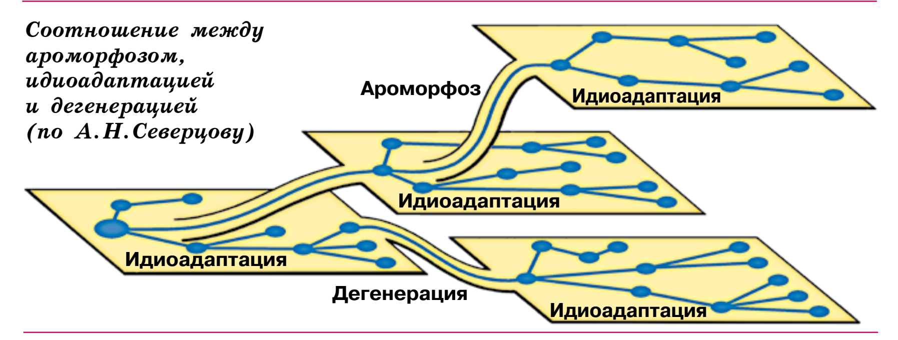
Гипотетические изменения организмов, вызывающие эти макроэволюционные крупные переходы, ученые назвали *ароморфозами* (<греч. airo поднимаю + morphe форма), в отличие от изменений адаптационного характера, *идиоадаптаций* (<греч. idios своеобразный + лат. adaptatio приспособление). Предполагаемое историческое саморазвитие особей назвали *филогенезом*.

К ароморфозам стали относить появление челюстей у позвоночных (более активное питание), появление скелета для крепления мышц (большая подвижность организма), разделение венозного и артериального кровотоков (максимальное насыщение крови кислородом и теплокровность), возникновение жабр, легких (дыхательной функции) и сердца (функции кровообращения), у растений — возникновение фотосинтеза, цветка и плода — у покрытосеменных и т.д.

Предполагалось, что возникновение класса птиц вызвано рядом крупных ароморфозов, а их громадное разнообразие обусловлено идиоадаптациями. Ароморфозами считается появление у птиц губчатых легких, возникновение полной перегородки между правым и левым желудочками сердца, полное разделение кровотока и теплокровность. Этими признаками птицы существенно отличаются от пресмыкающихся. Приспособлениями к полету — идиоадаптациями — считается преобразование передних конечностей в крылья, возникновение перьевого покрова и рогового клюва, двойное дыхание и воздушные мешки, наличие киля, укорочение кишечника и отсутствие мочевого пузыря.

В современной эволюционной теории *ароморфозами называют гипотетическое возникновение в ходе эволюции приспособлений, существенно повышающих уровень организации существ, идиоадаптациями — приспособление к среде без принципиальной перестройки биологической организации.*

Выделяют также *дегенерацию — гипотетическое резкое упрощение, связанное с исчезновением целых систем органов и функций,* например при переходе к паразитическому образу жизни.



Соотношение между ароморфозом, идиоадаптацией и дегенерацией (по А.Н. Северцову)

Предполагается, что у червей-паразитов редуцировались (<лат. reductio возвращение, отодвигание назад) органы чувств, упростилось строение нервной и пищеварительной систем, у растений-паразитов утратилась способность к фотосинтезу. Утрата глаз кротом также считается примером дегенеративного пути развития.

§ 43. Развитие эволюционных идей

Живые существа характеризуются невероятной сложностью организации, изумительно четким взаимодействием частей организма, поразительной целесообразностью строения и поведения, удивительным разнообразием форм от простейших до человека. Как все это появилось? До середины XIX в. в науке торжествовала концепция *креационизма* (<лат. creatio создание): весь растительный и животный мир, сам человек — творения Божии, сохраняющие основные первозданные свойства.

В XVIII в. появилась *трансформистская* концепция, согласно которой изначально были сотворены только очень простые организмы, которые затем в соответствии с замыслом Творца развились в более сложные современные формы. Трансформистской концепции придерживались И. Кант, М. де Мопертюи, Р. Гук, Эразм Дарвин (дед Чарльза Дарвина), Э. Ж. Сент-Иллер, Ж. Бюффон (полагал, что обезьяна — выродившийся человек).

Некоторые эволюционные идеи присутствовали еще у философов древности: Фалеса, Анаксимандра, Эпикура, Лукреция, но наиболее развернутую форму эволюционная гипотеза приобрела в трудах Жан-Батиста Ламарка, опубликованных в начале XIX в. Порядок в природе, по Ламарку, «насажден Верховным Творцом всего сущего». Ламарк предположил, что жизнь зарождается и движется к высокоорганизованным формам в соответствии с заложенным Творцом стремлением к совершенству. Группы существ, появившиеся ранее других, достигли уровня высших организмов, возникшие недавно пока еще просты в устройстве, а человек — сотворен непосредственно Богом.

Подробное изложение гипотезы о происхождении человека от древних обезьян (в труде «Философия зоологии», 1809 г.), он заключил словами: «Вот к каким выводам можно было прийти, если бы происхождение человека не было иным».

Ламарк предложил и механизм эволюции: усиленное упражнение одних органов ведет к их усовершенствованию, неупражнение других — к упрощению и исчезновению. Ламарк полагал, что длинная шея жирафа сформировалась вследствие упражнения многих поколений в вытягивании шеи, а глаза крота претерпели редукцию вследствие неупражнения. Птицы, обитающие на илистых берегах рек, имеют длинные ноги, поскольку их предки всячески старались их вытянуть, чтобы не увязнуть в иле. Ламарк считал, что развитые особью признаки передаются по наследству. Разобраться в ошибочности воззрений Ламарка стало возможным лишь на основе знания генетики.

Эволюционная гипотеза Ламарка не получила широкого признания, в XIX в. преобладала креационная модель Ж. Кювье и его последователей. Кювье пересмотрел зоологическую классификацию и ввел категории «тип» и «семейство». Изучая строение позвоночных, он понял, что все органы существ являются частями целостной системы. Так, если у животного есть копыта, то и весь его организм отражает травоядный образ жизни: зубы и челюсти приспособлены к перетиранию растительности, а кишечник — очень длинный. Если у существа — острые зубы для разрывания жертвы, то у него должны быть и челюсти, своим строением позволяющие захватывать и удерживать добычу, когти, гибкий позвоночник, удобный для охоты, и короткий пищеварительный тракт. Такое взаимное соответствие частей тела Кювье назвал принципом корреляций (<лат. correlatio соотношение). Руководствуясь этим принципом, ученый описал многие виды ископаемых организмов и основал две новые научные дисциплины — сравнительную анатомию и палеонтологию.

Кювье утверждал, что все живые организмы сотворены Богом и появились на планете в совершенном виде. Он считал, что геолого-палеонтологические отложения — это результат катастроф, погребавших организмы в массовом количестве, а вовсе не летопись длительного эволюционного развития. После каждой катастрофы включая Всемирный потоп живые организмы расселялись заново. Более поздние и современные креационисты, рассматривают лишь одну общепланетарную катастрофу — Всемирный потоп, под которым понимается не просто наводнение, а гораздо более многогранное и великомасштабное геологическое явление, включающее перестройку земной коры с формированием месторождений угля и нефти и изменение планетарного климата, а с ним — всего животного и растительного мира. Один из последователей Кювье, Жан Луи

Агассис, автор основательного труда по изучению ископаемых рыб и иглокожих, развивавший теорию катастроф на основе данных палеонтологии, геологии и библейского повествования о потопе, лаконично выразил суть творческих поисков ученых-катастрофистов XIX века: «Наука — перевод мыслей Творца на человеческий язык».

Существенным этапом в формировании эволюционных идей стали труды Чарльза Дарвина. Ученый подметил, что многие организмы представлены несколькими сходными видами, каждый из которых адаптирован к конкретным внешним условиям. Дарвин заключил, что новые виды постепенно зарождаются в популяциях прежнего вида, приспосабливаясь и изменяясь. Постепенно он дополнил свою гипотезу положением о том, что все современные обитатели планеты за миллионы лет постепенно саморазвились из простейших организмов. Творческую преобразующую роль Дарвин отводил естественному отбору. Широким распространением эта гипотеза обязана прежде всего духу времени с его преувеличенным представлением о могуществе человеческого разума, стремлением объяснить все явления натуралистически. Дарвин окончил богословский факультет знаменитого Кембриджа, в своей книге «О происхождении видов» он утверждал, что 4-5 первоначальных простых форм животных и столько же растений были созданы на планете Богом, и уже после их сотворения начался эволюционный процесс. Утверждая сотворенность мира, Дарвин ошибался лишь в возможных масштабах эволюционного процесса, преувеличивал творческую роль естественного отбора.

В первой половине XX в. стала очевидной неспособность дарвинизма объяснить формирование надвидовых таксонов. Данные генетики резко расходились с дарвиновским механизмом постепенных накоплений особью адаптивных признаков (обеспечивающих приспособленность). Пытаясь преодолеть несостоятельность гипотезы Дарвина, целый ряд ученых — С. Четвериков, Дж. Холдейн, Дж. Гексли, Ф. Добжанский, Э. Майр, И. Шмальгаузен, А. Н. и А. С. Северцовы, Л. Татаринов — создали так называемую *синтетическую теорию эволюции* (СТЭ, или неодарвинизм), рассматривающую видообразование на популяционном уровне. Основное предположение СТЭ состоит в том, что мутантные гены сначала накапливаются (вследствие размножения особей) в генофондах популяций в рецессивной форме, а затем при резком изменении внешних условий (изоляции, перемене климата или кормовой базы) естественный отбор концентрирует накопленные полезные аллели (адаптивные) и формирует новый вид, неприспособившиеся особи вымирают. Одновременно в науке складывались взгляды, противоречащие СТЭ или существенно ее модифицирующие.

Новые научные данные показывали несостоятельность гипотезы о возникновении и формировании посредством естественного отбора каждого признака во всех его деталях. Поэтому в 1968 г. молекулярные биологи М. Кимура, Т. Джукс и Д. Кинг предложили гипотезу эволюции на основе нейтральных мутаций, не подвергающихся действию естественного отбора. Их «нейтралистская эволюция» подверглась резкой критике сторонниками творческой роли естественного отбора (по Дарвину), утверждавшими, что только отбор может формировать признаки.

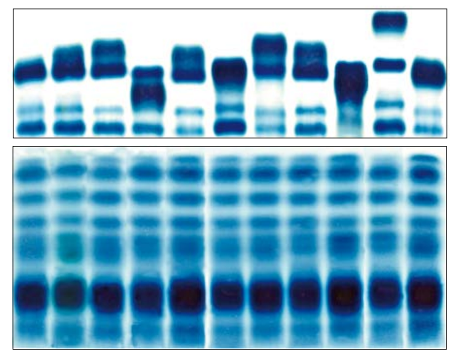
В 1972 г. два известных палеонтолога Н. Элдридж из Американского музея естественной истории и С. Гулд из Гарварда на основе факта полного отсутствия переходных ископаемых форм между крупными таксонами пришли к выводу о невозможности эволюции путем постепенных изменений. Они выдвинули концепцию неравномерного темпа эволюции с продолжительными периодами стабильности и быстрыми эволюционными скачками — гипотезу «прерывистого равновесия». Споры о ней не прекращаются до сих пор, но механизм таких скачков не найден.

Пытаясь согласовать эволюционные представления с фактом отсутствия переходных форм, немецкий палеонтолог О. Шиндевольф и американский генетик Р. Гольдшмидт в противовес малым мутационным изменениям СТЭ предложили гипотезу «системных мутаций», приводящих к крупным преобразованиям генома с появлением так называемых обнадеживающих уродов. Согласно Шиндевольфу, «первая птица вылетела из яйца рептилии». Н. Воронцов выдвинул гипотезу мозаичной эволюции посредством изменения фрагментов организма.

Современная эволюционная гипотеза представляет собой множество противоречащих друг другу предположений, неспособных сформулировать основной механизм эволюции.

Работы российских ученых (1970—2006 гг.) Ю. П. Алтухова, Ю. Г. Рычкова, Л. И. Корочкина, Е. А. Салменковой и др. стали принципиально новым этапом в осмыслении проблемы вида и видообразования.

Исследовав рыб, моллюсков, насекомых, земноводных, пресмыкающихся, птиц, млекопитающих, ученые показали, что геном эукариот состоит из мономорфной и полиморфной частей. Вариации полиморфных генов имеют широкий спектр и обеспечивают внутривидовую изменчивость, определяя адаптивные признаки, которые второстепенны. Мономорфные же гены совершенно одинаковы у всех особей одного вида, изменения в них летальны для организма, они кодируют жизненно важные, наиболее существенные признаки вида, свойственные только этому виду. Поэтому *вид определяется как совокупность особей, идентичных по видовым признакам,* кодируемым мономорфными генами (виды могут различаться лишь несколькими мономорфными



Вертикальные колонки — электрофореграммы (распределение в электрическом поле) белков 11 особей кеты. Вверху — полиморфный белок крови альбумин, видна индивидуальная изменчивость; внизу — мономорфный белок хрусталика глаза кристаллин, индивидуальная изменчивость отсутствует (по данным Ю. П. Алтухова)

генами). Определение подходит также для однополых и вымерших видов, критерий скрещиваемости для которых неприменим.

Благодаря этому открытию (ученые удостоены Госпремии РФ) стало понятно, почему виды консервативны и не преобразуются в другие: оказывается, каждый вид имеет отличительные видовые признаки, кодируемые мономорфными генами, изменения в которых пагубны.

Поскольку все особи одного вида по своим мономорфным генам идентичны некоторой особи с типичным набором генов, этот подход в биологии получил название *типологического*, в отличие от популяционного, в котором вид рассматривается как совокупность особей, образующих популяцию. В типологическом подходе важно именно то, что все наиболее характерные признаки вида заключены в типовой особи, а их вариации второстепенны. В популяционном подходе, наоборот, основное внимание уделяется широте диапазона изменчивости вида, а понятие о типовой особи не рассматривается, как второстепенное и преходящее.

Изучив генетические процессы в природных популяциях животных и растений, а также палеонтологический материал, Ю. П. Алтухов с сотрудниками показали, что любая совокупность популяций обладает удивительной устойчивостью во времени и в пространстве. И эта устойчивость достигается уже через несколько поколений после расселения популяции по ареалу, не оставляя никакой возможности для длительных и постепенных макроэволюционных изменений.

На обширном фактическом материале показано, что внешние воздействия (давление отбора), сколь бы существенны они ни были, вплоть до гибели вида, при значительных вариациях в различных частях ареала, не изменяют генетической структуры вида в целом. Если часть популяции, накопившая необычные аллели, оказывается изолированной, она вовсе не формирует новый вид: такой изолят либо погибает, либо быстро становится устойчивым и стабильным, не подверженным действию отбора. Следовательно, дарвинизм, предполагающий постепенное за-

рождение новых видов в популяциях прежнего, несостоятелен.

Согласно Дарвину, «виды — только более резко выраженные и более постоянные разновидности», поэтому накопление адаптивных изменений должно давать новый вид. Но исследования показали, что генетическое разнообразие вида вовсе не безгранично, причем близкие виды (а иногда и достаточно далекие) имеют практически одинаковый набор полиморфных генов, четко различаясь по определенным мономорфным генам. Таким образом, в дарвинизме и СТЭ адаптивные изменения неправомерно применяются для доказательства макроэволюции: для исследования ее возможности необходимо изучать мономорфную часть генома, что упущено в синтетической теории.

Коль скоро виды различаются по генетическим признакам, одинаковым у особей одного вида, то беспочвенны и рассуждения о преобразующей роли естественного отбора: не из чего выбирать, варианты мономорфных генов отсутствуют. А значит, естественный отбор не может преобразовать вид в какой-то другой. Адаптивные изменения в популяциях — отнюдь не эволюционный процесс, а универсальная стратегия природы, обеспечивающая приспосабливаемость вида, его целостность.

Возможные механизмы образования новых видов. Синтетическая теория эволюции рассматривает только полиморфные гены, отвечающие за адаптацию, решающую роль отводит точечным мутациям. Но любые нарушения в мономорфных генах летальны. Поэтому образование новых видов может происходить лишь посредством крупных системных перестроек мономорфной части генома без нарушений самих генов, то есть — посредством *гибридизации* (наблюдается у растений, рыб, ящериц) и *полиплоидии* (у растений, рыб и земноводных). Механизмы гибридизации и полиплоидии абсолютно не в состоянии сформировать животный и растительный мир во всем его богатстве и разнообразии, что заставляет задуматься о творческой роли Создателя.

По мнению академика Ю. П. Алтухова, материалистические механизмы эволюции несостоятельны, а «места для дарвинизма как теории эволюции вовсе не остается». По словам ученого, «замена дарвинистами Господа Бога естественным отбором нанесла существенный ущерб не только развитию естественных наук, но и самого человечества».



1. Изложите сущность концепции креационизма.
2. В чем различие гипотез Ламарка и Дарвина?
3. Почему при построении эволюционных гипотез важно различать полиморфную и мономорфную части генома?
4. Можно ли считать адаптивные изменения свидетельством непрерывно текущей эволюции? Почему?
5. Какие механизмы видообразования достоверны?

§ 44. Мутации и предполагаемая макроэволюция

В организмах постоянно возникают мутации. Большое количество мутаций вызвано излучениями и химическими воздействиями. Но часть мутаций неразрывно связана с функционированием организма. При воспроизведении генов регулярно происходят ошибки. Изменения в геном вносят также происходящие при размножении рекомбинации (перетасовки генных блоков), обеспечивающие приспосабливаемость и дающие богатство форм внутри вида (например, собаки одной породы удивительно разные).

Изменчивость вида имеет определенные границы. Внешние изменения, сколь бы заметными они ни казались, фундаментальных признаков вида не затрагивают. Более масштабные изменения генов приводят не к образованию новых видов, а к гибели. Об этом говорит и тысячелетний опыт селекционеров. Вариации, которые могут быть достигнуты селекцией, имеют четкие пределы. Изменение свойств возможно только до определенных границ, а затем приводит к нарушениям или к возврату в исходное состояние.

Рассмотрим более подробно эволюционную гипотезу о происхождении видов путем случайных мутаций. Предположим, что в результате ошибок в генах у существа произошло изменение сетчатки глаза. Такое изменение связано с переменами во всем аппарате: одновременно должны измениться ряд других частей глаза и соответствующие центры мозга. За все это отвечают целые структуры, состоящие из множества генов. Насколько реально ожидать согласованной полезной мутации этих структур?

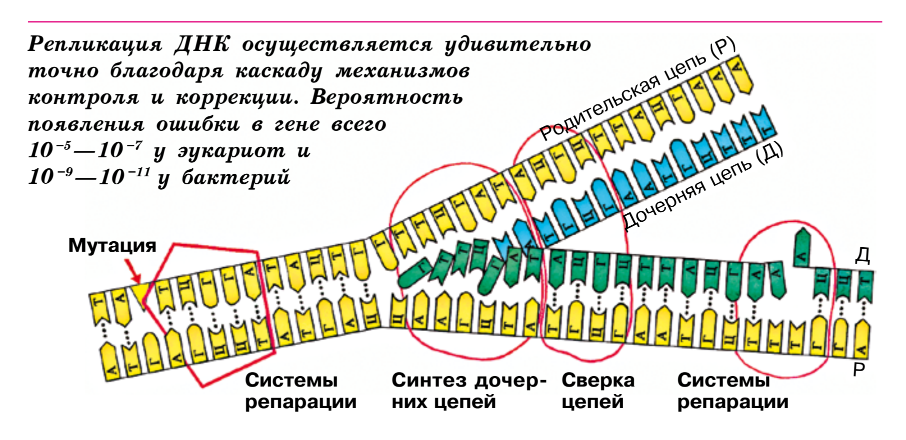
Возможность события характеризуется в науке вероятностью. Если мы бросим монету, вероятность упасть на землю равна 1, упасть орлом — 1/2, решкой — тоже 1/2. Вероятность встать монете на ребро довольно мала (даже если постараться — не более 10^{-3}); этого никто, наверное, не наблюдал. Вероятность же повиснуть в воздухе равна нулю. Известно, что мутации происходят случайно, они имеют свою вероятность. Регистрируемые учеными мутации происходят у эукариот с вероятностью около 10^{-6} на один ген в одном поколении у каждой конкретной особи. Обычно это небольшие, точечные нарушения генов, лишь немного изменяющие организм. Попытаемся понять, могут ли подобные изменения преобразовать комплекс генов так, чтобы это привело к образованию совершенно нового вида.

Далеко не всякая мутация приводит к образованию нового белка, не всякий новый белок дает новую функцию, а ее появление еще не означает приобретение нового признака. Требуются именно конструктивные изменения. Для нормального развития клетки гладкой мышечной ткани человека необходима слаженная работа более сотни генов, в формировании поперечно-

полосатого волокна участвует несколько сотен генов. По расчетам ученых, вероятность появления простейшего нового признака составляет в среднем по разным признакам и разным генам примерно 10^{-200}. Это число столь мало, что безразлично, сколько мы будем ждать такой комбинации полезных мутаций, год или миллион лет, у одной или у миллиона особей. А сколько признаков должно преобразоваться, чтобы одни виды превратились в другие, образовав множество существ на планете! Для такого преобразования путем генных мутаций не хватило бы и всего предполагаемого учеными времени существования Земли.

Мутации случайны. Они не могут быть синхронными и соразмеренными. Другое дело, когда они приводят к болезням, уродствам или смерти: для этого подойдут любые нарушения, а для того чтобы мутация была благоприятной, необходимо чудесное совпадение, синхронное «полезное нарушение» сразу целого набора генов, соответствующих различным, точно сонастроенным системам и функциям живого организма. Академик Л. С. Берг писал: «Случайный новый признак очень легко может испортить сложный механизм, но ожидать, что он его усовершенствует, было бы в высшей степени неблагоразумно». Геологические слои содержали бы невероятное множество уродов в гораздо большем количестве, чем нормальных существ. Но ничего подобного в отложениях не обнаружено. С фактами палеонтологии и математики трудно спорить: многообразие видов никак не могло возникнуть путем случайных мутаций.

В качестве доказательства широты диапазона мутаций иногда приводят результаты опытов с дрозофилой, но фактическое различие между мутантами этой плодовой мухи слишком мало. Известный исследователь дрозофилы Р. Гольдшмидт утверждает, что «даже если бы мы могли соединить более тысячи этих вариаций в одной особи, все равно это не был бы новый вид, подобно встречающимся в природе». Большинство



Репликация ДНК осуществляется удивительно точно благодаря каскаду механизмов контроля и коррекции. Вероятность появления ошибки в гене всего 10^{-5}—10^{-7} у эукариот и 10^{-9}—10^{-11} у бактерий

мутаций этой мухи связано даже не с нарушениями генов, а со вставкой мобильных генетических элементов — особых последовательностей нуклеотидов, при некоторых условиях способных перемещаться в другой участок ДНК. Вставка мобильных элементов в гомеозисные гены (регуляторные гены, отвечающие за развитие организма в эмбриогенезе) объясняет и появление у дрозофилы бездействующих конечностей на голове вместо антенн. Но могут ли лапы на голове способствовать прогрессивному развитию?

У бактерий и вирусов диапазон приемлемых мутационных изменений чрезвычайно широк. Быстро приспосабливаясь к внешним условиям, они сохраняют свою видоспецифичность. Возбудители туберкулеза, мутируя, образуют устойчивый к антибиотику штамм, сохраняя при этом свои основные признаки. Исследования показали, что возникающие в процессе приобретения невосприимчивости к антибиотикам мутации не прибавляют новых полезных генов, а напротив, ведут к дегенерации. Так, устойчивость бактерий к стрептомицину является результатом мутации, нарушающей структуру рибосом. Защищая бактерию от гибели, мутация ухудшает работу рибосом. *Современной науке неизвестны примеры появления новых генов, которые несли бы новые позитивные признаки.* На основе только этого факта справедливо усомниться в гипотезе эволюционного саморазвития живого.

В опытах с бактериями удалось экспериментально подтвердить невозможность макроэволюции посредством мутаций. Для эволюционного процесса важна не временная длительность, а достаточно большое количество поколений, которое у бактерий проходит за время лабораторного эксперимента. За популяциями бактерий проводились наблюдения в течение десятилетий. Частоту мутаций специально увеличивали мутагенами. Бактерии прошли путь, соответствующий миллиардам лет для высших животных. Мутантные штаммы бактерий постоянно возвращались к исходному «дикому» типу, образование новых штаммов не выходило за внутривидовые рамки. Бактерии, выжившие в состоянии спор в мезозойских отложениях (датируются возрастом до 200—250 млн лет), идентичны современным; как и докембрийские бактерии, окаменелости которых сохранились в пластах.

Итак, наблюдаемые вариации признаков ограничены пределами очень близких видов. Благодаря рекомбинациям при скрещивании и мутациям организмы имеют возможность изменений, обеспечивающих удивительное разнообразие существ каждого вида, их адаптацию к среде и выживаемость. Но такие изменения, как мы убедились, не могут преобразовать геном одного вида в геном другого вида, и этот факт представляется исключительно разумным. Если бы природа шла по пути дарвинской эволюции, когда в результате отбора выживает

сильнейший и приспособленнейший мутант, то мир был бы переполнен кошмарными существами, среди которых крыса, возможно, оказалась бы одним из самых симпатичных и безобидных зверьков. А ведь мир удивительно красив. Он красив особой, благородной красотой, которую невозможно объяснить мутациями. «Сотворенный мир является совершеннейшим из миров», — писал великий немецкий математик Лейбниц.

И в завершение заметим следующее. Если признать борьбу за существование причиной появления видов, то ведь в ней простые формы имеют явные преимущества. Простейшие организмы вряд ли можно считать менее приспособленными, чем высокоорганизованные. Если выживает самый приспособленный, то на Земле и жили бы одни «приспособленцы» — простейшие организмы.

Естественный отбор случайных мутаций не способен создать разнообразие столь сложных организмов, населяющих планету. По словам академика Ю. П. Алтухова, изучая природу, мы видим «такую целесообразность, которая не выводится из дарвинизма, невозможно из него вывести удивительную сложность и разумность органического мира».

Материализм в биологии, пленявший умы исследователей, показал свою несостоятельность, его время проходит. Многие биологи сегодня отделяют эволюционную теорию как науку о возможных изменениях в организмах от реконструкции «древа эволюции», признавая последнее лишь предполагаемой историей. Эволюционные теории являются чисто гипотетическими, своеобразной философией в науке. Будь то дарвинизм или СТЭ, системные мутации Р. Гольдшмидта или модель прерывистого равновесия Гулда—Элдриджа, гипотеза нейтралистской эволюции Кимуры, Джукса и Кинга или мозаичная Н. Воронцова — все эти модели являются лишь предположениями, непроверяемыми и противоречащими друг другу.

Все меньше биологов остаются убежденными в эволюционно-материалистической версии возникновения живых организмов. Биологи, как и многие другие ученые, с неизбежностью задумываются о созданности мира. «Создание любой стройной научной системы неизбежно приводит к мысли о существовании Абсолютного Бытия», — отмечает президент РАН Ю. С. Осипов.



1. Насколько широк диапазон изменчивости видов? Что об этом говорит опыт селекционеров, бактериологов?
2. Возможно ли прогрессивное развитие посредством случайных нарушений, известны ли науке такие примеры?
3. Известны ли науке случаи появления новых генов, несущих новые, не дегенеративные, признаки?

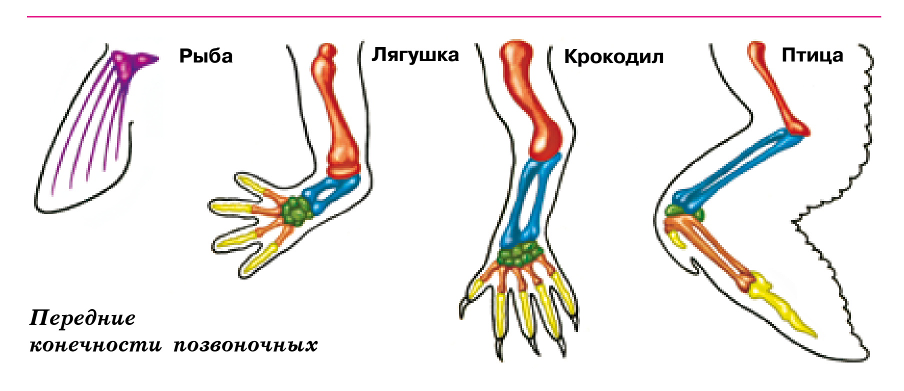
§ 45. Гомологичные органы, рудименты и атавизмы

Существование этих органов, как на первый взгляд может показаться, свидетельствует о минувшей эволюции.

Гомологичные органы. Одна из самых известных гомологий — передние конечности позвоночных. Обратим внимание, что их сходство может свидетельствовать как об эволюционном развитии, так и о наличии плана творения и его вариаций в зависимости от среды обитания организмов. Исследования показали, что передние конечности формируются у многих позвоночных из разных групп зародышевых клеток (это особенно ясно при сравнении развития плавников и крыльев). Утверждать с уверенностью, что передние конечности позвоночных гомологичны, неправомерно. Если бы они действительно были гомологичными, тогда формировались бы в эмбриогенезе из одних и тех же групп клеток эмбриона. Гомологичные органы как имеющие общее происхождение от единой некогда структуры должны контролироваться идентичными генными комплексами, но для проверки этого положения пока не хватает данных.

Ученые отмечают, что, хотя внешнее сходство многих млекопитающих позволяет предположить эволюционную взаимосвязь, строение макромолекул (ДНК, белков и т. д.) их организмов такую связь во многих случаях отвергает. Большинство белковых филогенетических древ (эволюционных рядов белков) противоречат друг другу, в объединенном древе повсеместно видны филогенетические несоответствия — от самых корней, среди ветвей и групп всех рангов. Большая часть сравнительных молекулярных исследований опровергает эволюцию.

Подтвердить гомологичность оказалось затруднительным и при изучении других органов «эволюционных родственников». Выяснилось, например, что пищевод акулы формируется из верхней части эмбриональной кишечной полости, пищевод миноги и саламандры — из нижней, а пресмыкающихся и птиц — из еще более нижней части. Почки рыб и земноводных развиваются из



Передние конечности позвоночных

туловищного отдела мезодермы (так называемых ножек сомитов), у млекопитающих — из тазового отдела, а зачаток туловищной почки у них рассасывается в процессе развития зародыша.

Оказалось затруднительным объяснить и эволюционное преобразование чешуи в шерстный покров. Эти структуры развиваются из разных тканей эмбриона: волосяной покров формируется из луковиц эпидермиса, чешуя большинства рыб — из зачатков более глубокого слоя (дермы), а у некоторых ископаемых рыб — даже из другого эмбрионального листка (костной мезодермальной ткани).

Очень редко ученым удается находить истинно гомологичные органы, то есть не только внешне похожие, но и формирующиеся из одних и тех же частей эмбрионов. Общая закономерность состоит в отсутствии эмбриональной и генетической связи между органами предполагаемых эволюционных родственников и доказывает, что они не могли произойти друг от друга.

Формы конечностей у животных отнюдь не являются случайными, а соответствуют свойствам среды, предназначенной Творцом для их обитания. Рыба плавает: ей даны простейшие конечности с плоскостью для отталкивания воды. У других животных иные условия — им необходимы многосуставные конечности. Попробуйте что-нибудь положить себе в рот, если у вас локоть всегда распрямлен (нет локтевого сустава), или присесть, если у вас нет коленного сустава. Если вы закрепите кистевой сустав и попробуете что-то сделать, то убедитесь в его целесообразности; необходимость нескольких пальцев очевидна. Раздвоенность предплечья и голени позволяет разворачивать кисть или стопу. Конечности живых существ похожи, поскольку выполняют сходные функции, но имеют и различия, обеспечивающие нормальную жизнедеятельность конкретного вида в среде его обитания. Даже самая изобретательная инженерно-конструкторская мысль никаких более разумных форм предложить не смогла.

Анатом Р. Оуэн ввел в науку термин гомологии в 1843 г. задолго до Дарвина, рассматривая сходство строения частей различных организмов именно как доказательство их сотворения по предначертанному плану. Эволюционную окраску понятие гомологий приобрело значительно позже.

Рудименты (<лат. rudimentum зачаток, первооснова). Так называют органы, которые у животного якобы не выполняют никакой функции, но у его эволюционного предка играли важную роль. В XIX в. считалось, что у человека около 180 рудиментарных органов. К ним относили полулунную складку глаза, щитовидную, вилочковую и шишковидную железы, миндалины, коленные мениски, аппендикс, копчик и многие другие органы, функция которых была неизвестна. Как выяснено теперь, у людей нет ни одного бесполезного органа.

Полулунная складка, расположенная во внутреннем углу глаза, позволяет глазному яблоку легко поворачиваться в любую сторону, без нее угол поворота был бы резко ограничен. Она является поддерживающей и направляющей структурой, увлажняет глаз, участвует в сборе инородного материала. Складка выделяет клейкое вещество, которое собирает инородные частицы, формируя их в комок для легкого удаления без риска повредить поверхность глаза. Полулунную складку нельзя считать остатком мигательной перепонки животных еще и по той причине, что эти органы обслуживаются различными нервами.

Аппендикс, как оказалось, играет важную роль в поддержании иммунитета человека, особенно в период роста организма. Он выполняет защитную функцию при общих заболеваниях и участвует в контроле бактериальной флоры слепой кишки. Статистика показала, что удаление аппендикса увеличивает риск злокачественных образований. В тридцатые годы в Америке «совершенно бесполезные» миндалины и аденоиды были удалены более чем у половины детей. Но со временем сотрудники Нью-Йоркской онкологической службы заметили, что у людей с удаленными миндалинами примерно в три раза чаще возникает лимфогранулематоз — злокачественное заболевание.

В 1899 г. французский врач Ф. Гленар предложил концепцию о том, что расположение органов пищеварительной системы человека несовершенно, поскольку мы якобы произошли от четвероногого существа. На эту тему им было написано около 30 научных статей. Больным, жаловавшимся на боли в желудке, ставили диагноз «синдром Гленара» — опущение кишок и других органов. Им назначалась фиксация слепой кишки и гастропексия: эти сложные операции имели целью усовершенствование человеческого организма.

И. Мечников выдвинул гипотезу, согласно которой пищеварительная система человека, сложившаяся на предыдущих этапах эволюции, плохо приспособлена к рациону человека. Английский врач У. Лэйн, вдохновившись этой гипотезой, начал осуществлять операции по укорачиванию толстого кишечника. Далее он стал удалять всю толстую кишку, полагая, что освобождает организм от находящихся там гнилостных бактерий и что такая операция будет способствовать лечению ряда болезней, от язвы до шизофрении. Один только Лэйн провел свыше тысячи подобных операций, у него были и последователи.

Сегодня подобные рассказы вызывают недоумение, а ведь за этими экспериментами стоит несчетное число жертв — искалеченных и умерших людей.

А теперь о животных. «Остатки крыльев» у киви, внешне напоминающей бесхвостую курицу, весьма необходимы: они служат для поддержания равновесия.

Считается, что кит — млекопитающее, вернувшееся в воду (как известно, Дарвин полагал, что медведь может превратиться в кита в процессе непрерывных пластических деформаций). У кита примерно посередине тела имеются костные выступы. Предполагалось, что они бесполезны и являются рудиментом задних конечностей, которыми животное когда-то передвигалось по суше, хотя эти кости никак не связаны с позвоночником. Как показали исследования, костные выступы вовсе не бесполезны, они служат для поддержания мышц и для необходимой защиты расположенных в этом месте весьма уязвимых органов.

У некоторых китов эти выступы довольно крупные, и ученые указывают на возможную причину: Творец мог наделить организмы всех хордовых единым базовым комплектом генов (как целостной генетической системой), кодирующих в том числе и конечности, но у китов гены, кодирующие конечности, заблокированы дополнительными генами. В случае сбоя блокировки гены конечностей частично активируются, и тогда эти кости оказываются несколько увеличенными. Так, у курицы имеются в подавленном состоянии гены, которые у некоторых вымерших птиц формировали развитую малую берцовую кость (у курицы эта кость — лишь малый костный отросток, приросший к большой берцовой кости). В ряде случаев необходимость единого комплекта очевидна. Например, в геноме лягушки содержатся гены, формирующие у личинок жабры и хвост, в геноме асцидий — хорду личинки, необходимую для свободного перемещения в воде.

Атавизмы (<лат. atavus предок) — признаки, которые, как предполагается, существовали у далеких предков, но были утрачены в процессе эволюции. В доказательство происхождения человека от животных приводятся факты рождения людей с увеличенными клыками, ногтями («когтями»), добавочными сосками (полимастия) или с волосами на всем лице. Обычно волосяной покров лица рисуют похожим на шерсть животного, на самом же деле это обычные волосы без подшерстка. Имеется достаточное количество примеров и других эмбриональных нарушений. Рождаются, например, люди с шестью пальцами, а шестипалых предков у человека не обнаружено. С какими эволюционными процессами связано существование двуглавых рыб и змей? А что следует заключить о происхождении животного, если оно родилось с пятой конечностью?

Любопытны случаи так называемой атавистической регенерации: у ящерицы вместо утраченного хвоста вырастает хвост укороченный, напоминающий хвосты ископаемых пресмыкающихся. Разумеется, подмеченное сходство может быть объяснено не только гипотезой эволюции.

Наблюдались случаи рождения детей с «хвостом», при их описании часто приводится изображение ребенка с закрученным поросячим хвостиком. На самом деле такие образования не имеют позвонков и являются остатками ткани зародыша.



1. Могут ли органы эволюционных родственников быть негомологичными?
2. О чем свидетельствует сравнение однофункциональных макромолекул предполагаемых эволюционных родственников?
3. Чем объяснить сходство строения конечностей животных?
4. Какие органы человека современная наука считает бесполезными?
5. Что такое атавизмы? Приведите примеры эмбриональных нарушений.

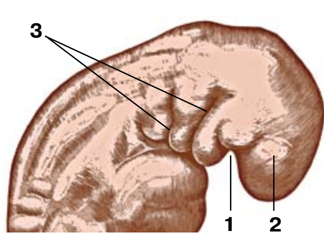
§ 46. Неправомерность биогенетического закона

Изучая изображения эмбрионов, современник Дарвина немецкий ученый Эрнст Геккель пришел к выводу, что в их развитии обнаруживаются признаки минувшей эволюции.

Биогенетический закон Геккеля: *каждый организм в период эмбрионального развития повторяет стадии, которые его вид должен был пройти в процессе эволюции* (в современной формулировке: вид повторяет эмбриональные стадии, т.е. признаки предков в зачаточной форме). Повторение таких признаков носит название *рекапитуляции* (<лат. recapitulatio повторение).

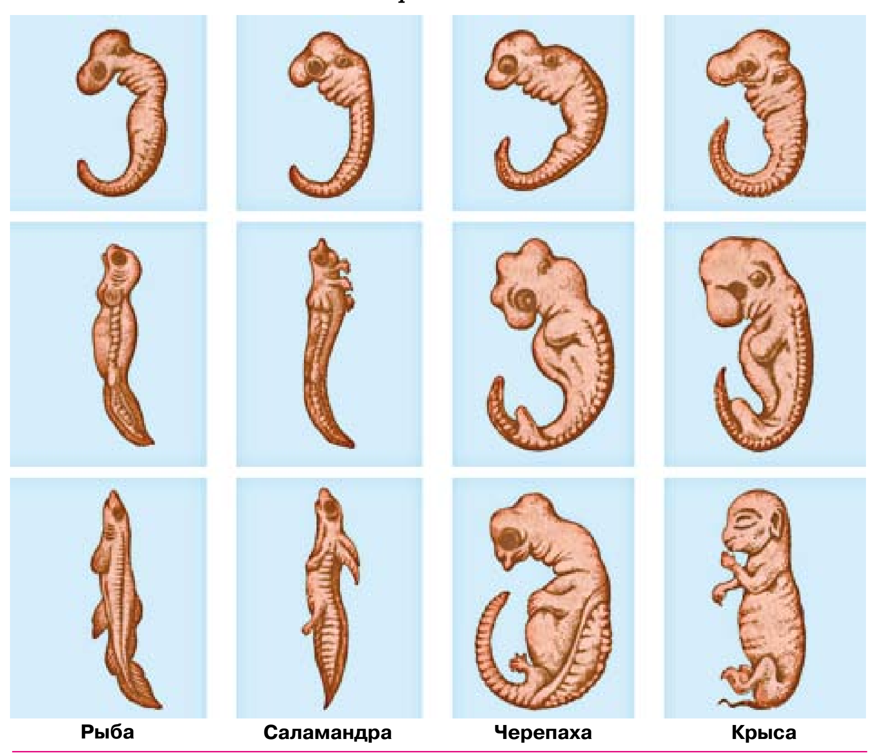
В доказательство Геккель приводил рисунки эмбрионов позвоночных. Когда профессиональные эмбриологи изучили эти изображения, то уличили Геккеля в фальсификации. Для усиления сходства пропорции эмбрионов были недопустимо изменены. Например, голова и глаза эмбриона человека — значительно уменьшены, задняя часть — удлинена вдвое, подрисованы жаберные щели. Авторитетный эмбриолог Вильгельм Хис писал, что Геккель «потерял всякое уважение и исключил себя из рядов научных исследователей всякого рода».

Кожные складки шейно-челюстной области человеческого зародыша — это складки тканей гортани, в которых расположены железы; существование складок в месте сгиба вполне естественно.



Эмбрион человека величиной 4 мм: 1 — рот; 2 — зачатки глаз, 3 — «жаберные щели»

Сходство начальных стадий эмбриогенеза позвоночных



Биогенетический закон утверждает, что эмбрионы позвоночных на ранних стадиях развития похожи друг на друга по причине якобы наличия у позвоночных общего предка. Сходство действительно наблюдается, но не потому ли, что у всех позвоночных — единая идея построения организма, наиболее четко проявляющаяся на стадиях формирования? Об этом писал академик К. Бэр еще до Геккеля. Карл Бэр придерживался креационных взглядов (как и Ж. Кювье), он полагал, что мир сотворен Богом и не является результатом эволюции. Ученый также указывал, что биогенетический закон не может выполняться по причине наличия в развитии эмбрионов образований, сохраняющихся навсегда только у вышестоящих форм. Так, у всех млекопитающих в начале эмбриогенеза челюсти такие же короткие, как у человека. Мозг зародышей птиц в первой трети эмбриогенеза похож на мозг млекопитающих существеннее, чем у взрослых особей. Палеонтолог А. П. Павлов еще в 1901 г. указывал, что молодые особи ископаемых аммонитов обладают признаками, которые в зрелом возрасте у них исчезают, но присутствуют у более сложных форм. Обратим внимание, что на самых ранних стадиях развития биогенетический закон явно

не действует: дробление, гаструла и нейрула проходят у многих позвоночных существенно по-разному.

Появление у эмбрионов целого ряда признаков, трактуемых эволюционистами как рекапитуляции, вполне объяснимо необходимостью эмбриональной индукции. Так, доказательством происхождения кита от наземных млекопитающих кроме «рудиментов» задних конечностей считаются также эмбриональные зачатки зубов у усатых (беззубых) китов. Исследования показали, что эти части эмбриона вполне функциональны: они служат индукторами при формировании челюстных костей. Аналогичным образом закладка у млекопитающих туловищной почки, свойственной рыбам, индуцирует развитие почек.

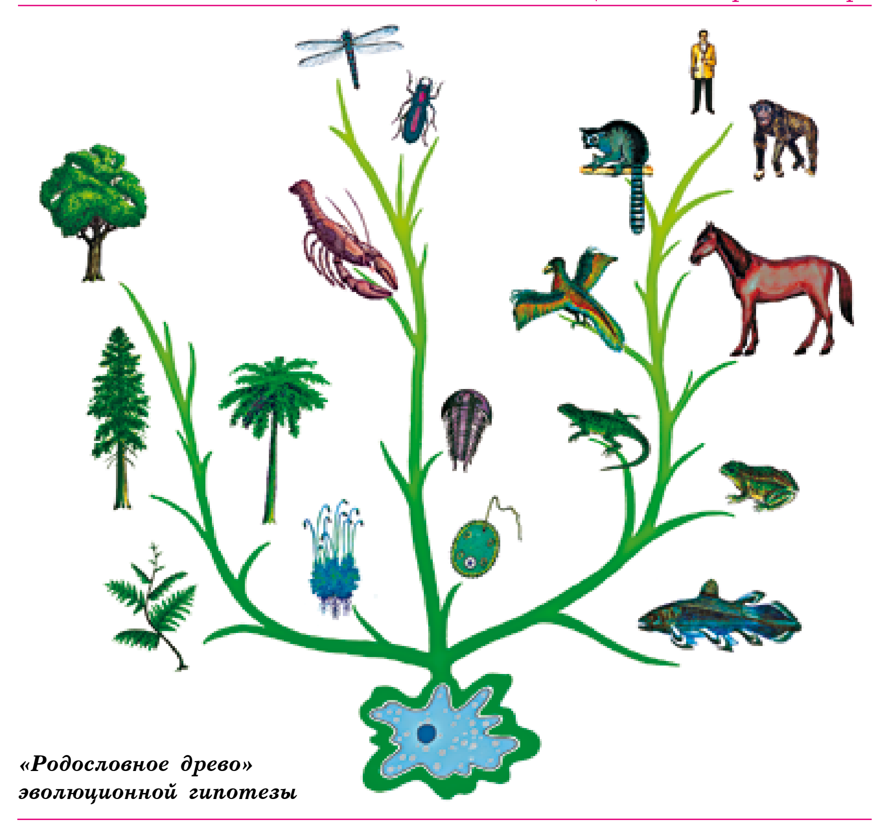
Нередко положения теории эволюции взаимно исключают друг друга. Так, вопреки биогенетическому закону оказалось, что «утраченные в процессе эволюции» пальцы лошади редуцированы уже на ранних эмбриональных стадиях.

В зарубежной научной литературе биогенетический закон уже почти не обсуждается, признано, что он вообще не может осуществляться, поскольку противоречит ряду положений теоретической биологии. Профессор МГУ А. С. Северцов, заведующий кафедрой проблем эволюции, указывает, что «с позиций генетики неправильность биогенетического закона очевидна», ведь разные виды могут иметь разные наследственные фенотипические признаки только вследствие различной, а не сходной закладки этих признаков в эмбриогенезе. В современном научном мире признается идея Геккеля о наличии «узлов сходства» в развитии эмбрионов. Так, у всех хордовых закладка осевых структур (хорды, нервной трубки, кишки) происходит одинаково, причем у более близких видов более сходны и зародыши, что вполне естественно и не требует эволюционного объяснения.

В последние годы выявлены и многие другие закономерности развития эмбрионов, не согласующиеся с биогенетическим законом. Неудивительно, что скептическое отношение к нему становится преобладающим. Известный современный эмбриолог С. Гильберт высказывается весьма категорично: «Гибельный союз эмбриологии и эволюционной биологии был сфабрикован во второй половине XIX в. немецким эмбриологом и философом Эрнстом Геккелем».

Пагубным последствием развития эволюционных идей в эмбриологии явилось принятие их обществом для оправдания абортов. Люди заключили, что прерывание беременности на ранних стадиях уничтожает всего лишь животное. В христианской этике этот грех детоубийства считается одним из тягчайших.

В связи с анализом мнимого закона Геккеля вспоминается советский академик Т. Д. Лысенко, который тоже хотел помочь эволюции. Возрождая идею Ламарка об определяющей роли



«Родословное древо» эволюционной гипотезы

условий среды, он «открыл» скачкообразное превращение пшеницы в рожь, ячменя в овес и так вдохновился, что даже известил мир о том, что ему удалось вывести кукушку из яйца пеночки (мелкой птицы). На одной из научных конференций ученый-генетик спросил Лысенко, почему у него и его аспирантов все получается, а у других в Союзе и за рубежом — нет? Народный академик Лысенко ответил: «Для того чтобы получить определенный результат, нужно хотеть получить именно этот результат, если вы хотите получить определенный результат — вы его получите».

Но добросовестный исследователь пойдет честным путем, помня слова Николая Коперника: «Моя задача — найти истину в великом Божьем творении».

Собственно говоря, современниками Дарвина его гипотеза о происхождении человека и не была воспринята серьезно. Она являлась предметом любопытства и бесконечных шуток. Друг и учитель Дарвина Сэджвик назвал ее «ошеломляющим парадоксом, высказанным очень смело и с некоторым импонирующим правдоподобием, но в сущности напоминающим веревку, свитую

из мыльных пузырей». Одно из писем он закончил с печальным юмором: «В прошлом Ваш старый друг, а ныне — один из потомков обезьяны». Художники соревновались в рисовании карикатур, а писатели — в изобретении забавных сюжетов на тему удлинения рук у потомственных рыболовов или удлинения ног у потомственных почтальонов. Что же касается происхождения видов, всем было хорошо известно, что животные одного вида могут различаться, образуя множество подвидов и пород, но возможность превращения одного вида в другой, конечно же, казалась подозрительной. Сомнение вызвал и предлагаемый способ возникновения принципиально новых форм путем естественного отбора, в творческую роль которого было трудно поверить.

Отсутствие доказательств новая гипотеза покрывала другим тезисом: процесс накопления изменений происходит очень долго — миллионы лет, и человеку его нельзя видеть. На первый взгляд, эти доводы действительно представляются не лишенными смысла, поэтому люди и заблуждаются, заключая, что если небольшие адаптивные изменения в популяциях — факт, то и макроэволюция как формирование «эволюционного древа» — тоже реальность. Такие заблуждения были простительны сто лет назад, но не сегодня. *Открытие явления мономорфизма* (более 2/3 генов меняться не могут) *показало, что генетические механизмы, лежащие в основе наблюдаемых изменений в популяциях, нельзя экстраполировать для объяснения гипотетической макроэволюции, поскольку их действие ограничено пределами вида*.

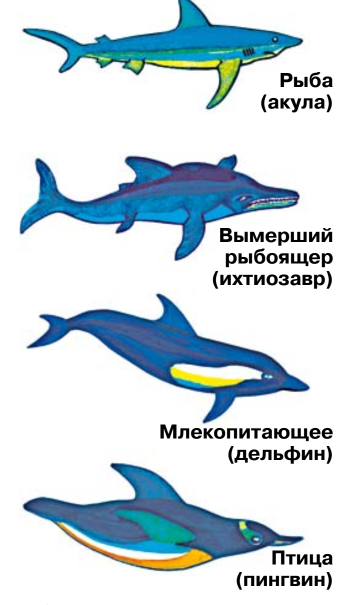


1. Чем являются «жабры» и «хвост» эмбриона человека?
2. На какие противоречия фактов с биогенетическим законом указывали К. Бэр, А. Павлов?
3. Согласуется ли самое начало эмбриогенеза с законом Геккеля?

§ 47. План сотворения

Если существа не образовались друг от друга, то чем же тогда обусловлено наличие видимых закономерностей в родословном древе эволюции? Эта упорядоченность как раз и указывает на Божественный план сотворения мира, описанный на первых страницах Книги Бытия (у Ж. Кювье, К. Линнея аналогичное древо было просто древом сходства). «Я поражаюсь, — писал знаменитый ученый Майкл Фарадей, — почему люди предпочитают блуждать в неизвестности по многим важным вопросам, когда Бог подарил им такую чудную Книгу».

Создавался не каждый вид в отдельности, а группы видов сообразно условиям, в которых животным предстояло обитать.

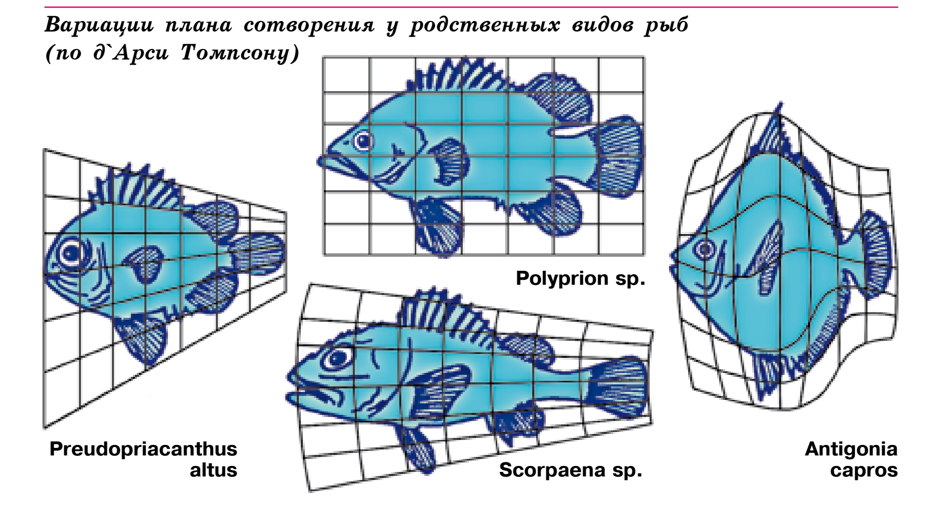


Конвергенция. Даже отдаленные виды, обитающие в похожих условиях, наделены сходством строения

Именно этим объясняется давно замеченная биологами *конвергенция* — сходство устройства и внешности даже далеких видов, которые будто бы развивались в похожих условиях независимо, по различным эволюционным путям. Современные генетики приходят к выводу, что причиной появления конвергентных признаков является план Творца (впервые об этом говорил Ж. Кювье в начале XIX в.). Все организмы получили от Создателя необходимые свойства применительно к среде обитания.

Рассмотрим рыб. Они совершеннейшим образом приспособлены именно к водному пространству. Им не требуется механизм терморегуляции, способ передвижения у них простой, и устройство относительно несложное. Обитателям прибрежных зон и болот (пресмыкающимся, земноводным) приходится ползать, поэтому вместо элементарно устроенных плавников они наделены многосуставными конечностями с пальцами, да и роговая чешуя пресмыкающихся отвечает другим условиям. Обитатели суши способны ходить и бегать, у них более стройные конечности, голова приподнята над телом; шерсть наилучшим образом защищает млекопитающих от жары

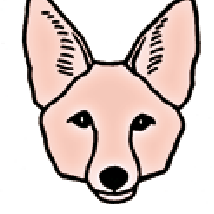
Вариации плана сотворения у родственных видов рыб (по д`Арси Томпсону)



Родственные виды, обитающие севернее, снабжены меньшими по размеру выступающими частями тела (правило Алена)



Полярная лисица (песец)



Обыкновенная лисица



Пустынная лисица (фенек)

и холода. Птицам для полетов даны крылья. Существование творческого плана очевидно, оно не вызывает сомнений. Современный ученый, нобелевский лауреат Артур Комптон писал: «Высший разум создал Вселенную и человека. Мне нетрудно верить в это, потому что факт наличия плана и, следовательно, разума — неопровержим».

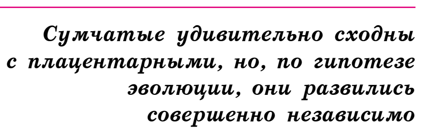
Разумной творческой целесообразностью объясняется и так называемая *параллельная* (независимая) *эволюция* животных различных систематических групп (к примеру, сумчатых и плацентарных). Принцип, по которому был составлен ряд свойств растений или животных одного вида при его сотворении, конечно же, проявился и в строении других видов. Сходство живых организмов на морфологическом, генетическом, эмбриональном уровнях наглядно подтверждает наличие единого плана. Наблюдаемое родство органического мира вполне объяснимо единым авторством Создателя.

Почему, собственно говоря, сотворенным организмам не быть похожими, для чего наделять их совершенно различными органами и генами? Сходные гены кодируют белки с похожими функциями у самых разных организмов, на единство плана указывает и сам факт универсальности генетического кода для всех организмов планеты. Вполне закономерно, что все мы в чем-то сходны, а из множества похожих вещей всегда можно построить правдоподобную эволюционную последовательность, в которой нетрудно выделить и основные, и промежуточные формы.



Волк **Сумчатый волк**

Муравьед **Сумчатый муравьед**



Крот **Сумчатый крот**

Сумчатые удивительно сходны с плацентарными, но, по гипотезе эволюции, они развились совершенно независимо



В семействе фазановых возможны скрещивания (по стрелкам), но с утиными они не скрещиваются

Безусловно, в каждом виде животных заложена широкая возможность изменений, но исключительно в пределах формирования очень сходных существ. Это значит, например, что кошки в зависимости от условий обитания могут мельчать или крупнеть, становиться пушистыми или гладкошерстными, но они никогда не станут обезьянами. Предположение о взаимопревращении разных видов не подтвердилось ни палеонтологическим материалом, ни генетическими исследованиями. Каждый вид имеет мощнейшую защиту от таких преобразований на генетическом уровне.

Наличием плана объясняется не только сходство органов у разных видов животных, но и обнаруженное Н. И. Вавиловым повторение одних и тех же признаков у растений, существование у них гомологических рядов изменчивости. Сходные ряды признаков наблюдаются не только среди близких видов, но и среди родов, семейств и даже классов. Единым планом, вероятно, обусловлено и появление в рядах живых существ сходных структурных образований, к примеру крыльев у птиц, летучих мышей, насекомых и древних рептилий. Известный ученый С. В. Мейен утверждал, что *у организмов, даже не связанных родством, существует общность на уровне законов формообразования*.

Современные ученые часто расходятся во мнениях, обсуждая сущность и точные границы видов и родов, не установлены четкие пределы возможных изменений в популяциях. Моллюсков одного из родов долгое время делили более чем на 200 видов,

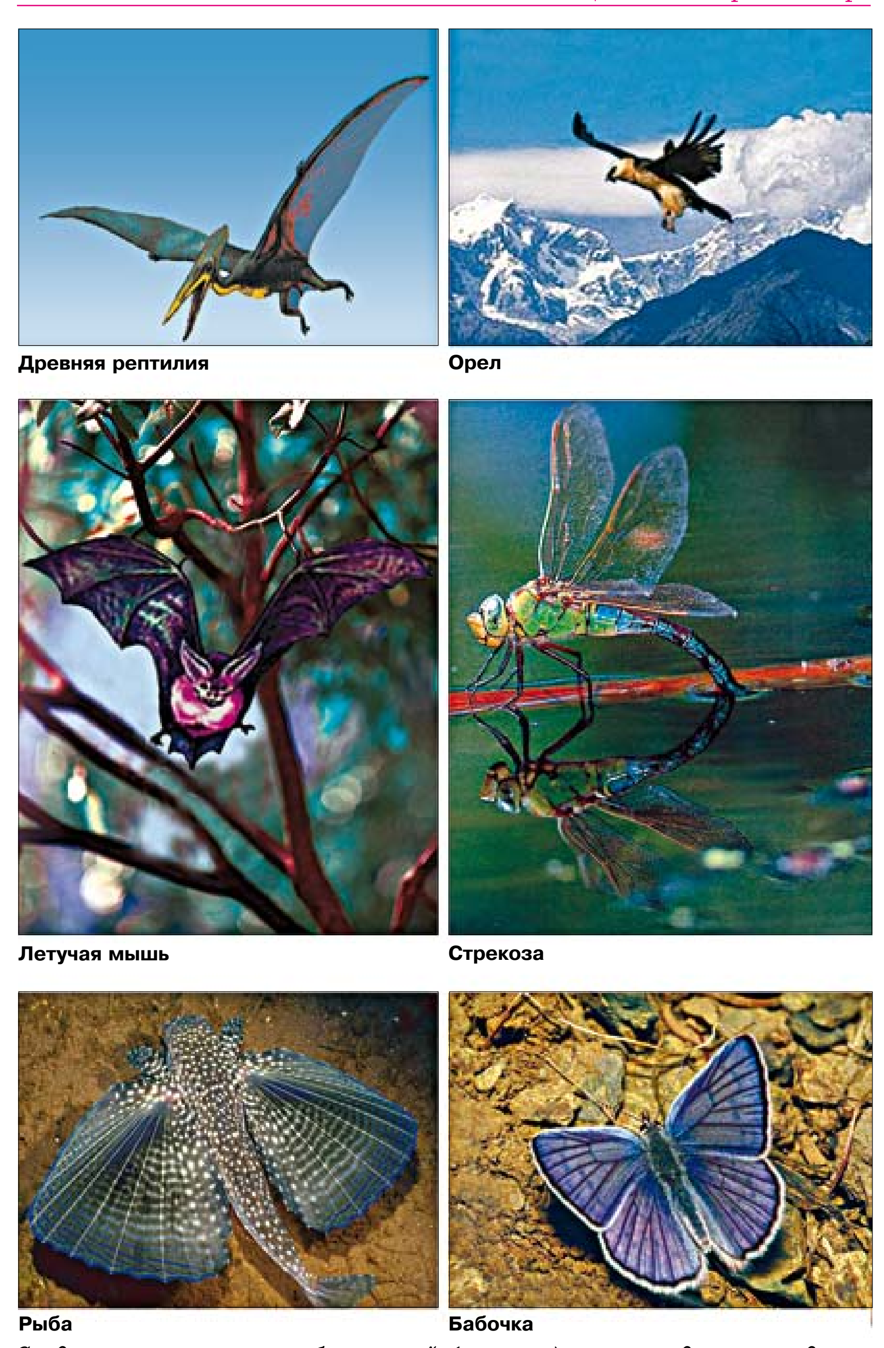


Представители семейства утиных обладают сходством физиологии и поведения. Некоторые виды удается скрещивать

но дальнейшие исследования показали, что их можно свести лишь к двум видам. По мнению некоторых ученых, библейское понятие «род», или сотворенный архетип (термин ввел в 1846 г. Р. Оуэн, <греч. archetypon прообраз), иногда соответствует виду, иногда — роду, а иногда — семейству. Среди высших животных архетипы, сотворенные Богом изначально, возможно, соответствуют семействам, например волчьих, медвежьих, кошачьих, утиных. Животным каждого из этих семейств свойственны общее поведение и физиология. Науке предстоит еще выяснить, в строении каких организмов различия произошли со дня сотворения, чтобы выделить сотворенные архетипы.

По мнению православных ученых, в качествах многих животных Творцом заложен понятный для человека назидательный смысл. Лев напоминает о высшей власти, голубь — о нравственной чистоте, орел может служить образом духовного парения над житейской суетой. Маленький муравей олицетворяет трудолюбие, огромный динозавр — слепую силу, обезьяна — бездуховную человеческую личность.

Хищники и жертвы. Многие современные виды по целому ряду признаков приспособлены для того, чтобы нападать, хватать, убивать. Это, например, крокодилы, змеи, медведи. Как их хищничество согласовать с планом творения? Научными методами невозможно установить состояние мира до грехопадения — мы рассмотрим лишь некоторые правдоподобные гипотезы.



Сходство структурных образований (крыльев) у самых далеких видов подсказывает мысль о единстве творческого замысла Создателя

В Писании сказано, что до грехопадения человека не было смерти и все существа питались растительностью. Косвенным доказательством такой возможности могут служить признаки некоторых животных. Так, панда может показаться грозным хищником. У нее острые зубы и когти. Трудно поверить, что этот зверь питается в основном бамбуком. Палеонтологами обнаружены останки древнего растительноядного крокодила. Существуют виды пираний, питающиеся исключительно растениями и имеющие не менее крепкие челюсти и острые зубы, чем их хищные сородичи. Некоторые виды летучих мышей — плодоядные, другие — хищные. У тех и других острые и крепкие зубы. Пищеварительная система льва настроена на свежее мясо, но в кризисных ситуациях львы могут питаться и овощами.

Следует еще учесть, что климат древней планеты был более благоприятным. Растительность была значительно изобильнее и разнообразнее современной. Известно, например, что самка комара для лучшего размножения использует кровь, но может обойтись и соком растений (численность потомства будет меньше). У некоторых современных растений в небольших количествах обнаружен легоглобин — аналог гемоглобина, одного из основных белков крови. Возможно, сок древних растений содержал больше белков, и комары успешно размножались без крови.

В первозданном мире функция средств нападения была, вероятно, иной. С тех пор как первый человек внес разлад и смерть в первозданный мир, одни животные стали хватать и поедать жертвы, а другие — прятаться и убегать. Можно предположить, что инстинкты животных переменились вследствие изменений в функционировании генов и соответствующих им изменений в обменных процессах. Хищники стали охотиться, а остальные животные испытывать страх перед ними. Возможно, в зубной и пищеварительной системах хищников произошли существенные изменения.

Инстинкты подсказывают паукам, где и как плести паутину и в какой момент хватать жертву. Паутина обладает сложнейшей химической структурой и является, в сущности, инженерным чудом: в паутине некоторых пауков запутываются даже птицы!

В наши дни сложнейшая реактивная защита спасает жукабомбардира от хищников. Вероятно, заботясь о своих созданиях, Творец изначально наделил их организмы способностью к грядущим переменам. Заметим также, что нам, привыкшим мыслить категориями нашего падшего мира, по-видимому, невозможно до конца постичь все особенности мира первозданного, но мы начинаем осознавать утрату его неповторимого великолепия.


Фрагмент картины М. В. Нестерова «Юность Сергия Радонежского»

Преподобный Сергий дружил с лесным медведем

Косвенным доказательством того, что в безгрешном мире взаимоотношения между существами были мирными, являются жизнеописания святых. Преподобному Герасиму Иорданскому в пустыне служил лев, к преподобным Сергию Радонежскому и Серафиму Саровскому без страха приходили лесные звери. Согласно Писанию, в будущей жизни, которая наступит после второго пришествия Христа, хищники обретут первозданное состояние «и пастися будут вкупе волк со агнцем, и рысь почиет со козлищем... и вол и медведь вкупе пастися будут, и вкупе дети их будут, и лев аки вол есть будет плевы (травы — *С. В.*)» (Ис. 11,7).

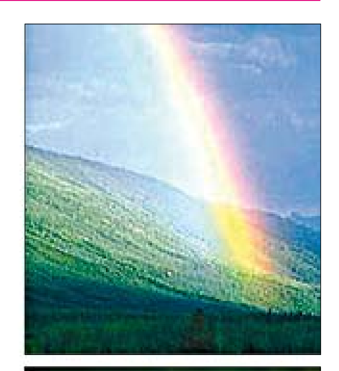






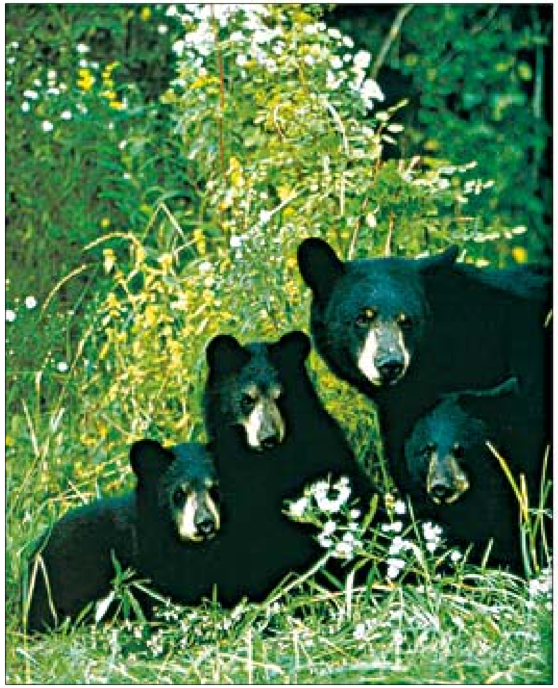


1. Прокомментируйте закономерности в «родословном древе» эволюции с позиций единого творческого плана сотворения мира.
2. Как объяснить конвергенцию, параллельную эволюцию, наличие гомологических рядов изменчивости, открытых Н. Вавиловым, наличие крыльев у насекомых, мышей, птиц и древних рептилий?
3. Что ученые называют сотворенным архетипом?
4. Чем питались хищники до грехопадения первых людей? Сохранились ли в современном мире свидетельства первозданной мирной жизни?





Удивительный мир Божий







В креационной катастрофической модели — слои быстрого формирования (в основном, вследствие Всемирного потопа)

Эра	Период (начало)	Пласты пород	Преобладающие формы жизни	Эпоха	
КАЙНОЗОЙСКАЯ	Четвертичный 1 млн лет			Эпоха млекопитающих	Эпоха современных покрытосеменных растений
	Третичный 66 млн лет				
МЕЗОЗОЙСКАЯ	Меловой 140 млн лет			Эпоха пресмыкающихся и аммонитов	
	Юрский 200 млн лет				Эпоха древних покрытосеменных растений
	Триасовый 240 млн лет				
ПАЛЕОЗОЙСКАЯ	Пермский 285 млн лет			Эпоха земноводных	
	Каменно-угольный (карбон) 350 млн лет				Эпоха голосеменных растений
	Девонский 400 млн лет			Эпоха рыб и кораллов	
	Силурийский 435 млн лет			Эпоха беспозвоночных	Эпоха морских растений
	Ордовикский 490 млн лет				
	Кембрийский 570 млн лет				
ПРОТЕРОЗОЙСКАЯ	До-кембрийский 4 млрд лет			Появление беспозвоночных	
АРХЕЙСКАЯ					

Геохронологическая шкала в соотношении с катастрофической моделью формирования недр

Глава 11. БИОСТРАТИГРАФИЯ

Для подтверждения или опровержения гипотезы макроэволюции, как и любой научной концепции, необходимы теоретическая разработка и экспериментальные исследования. Что могло бы подтвердить факт происшедшей эволюции? Безусловно, останки организмов в геологических слоях. Для такой проверки необходимо изучить условия образования геологических недр, последовательность залегания останков существ и наличие между ними переходных звеньев.

Во времена Дарвина геолого-палеонтологический материал был очень скудным, с тех пор учеными были обнаружены миллионы окаменелостей. О том, что же показали исследования этих находок, вы узнаете в настоящей главе.

§ 48. Геохронологическая шкала

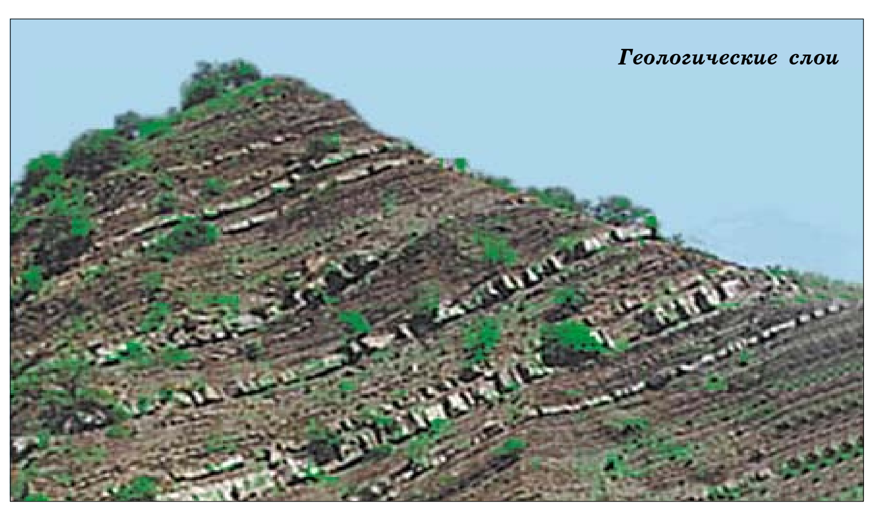
В современной науке наиболее распространена гипотеза о том, что жизнь на планете появилась сначала в воде, затем организмы постепенно освоили сушу, образуя все более сложные формы. Предполагаемая картина эволюции запечатлена в геохронологической шкале. Указаны названия эр, эпох и периодов, их возраст, характерная флора и фауна. Наряду с этой гипотезой в современной науке под давлением фактов все больший авторитет приобретают представления о появлении нашего мира в результате творческого акта Создателя. Целый ряд данных противоречит ставшей уже классической картине исторического саморазвития материи — эволюции.

Изучение земной коры показало, что более сложные формы чаще всего действительно находят в верхних слоях. Но эта закономерность не столь очевидная; достаточно часто в слоях находят окаменелости выше и ниже «своей эры», в одном слое может встречаться флора и фауна разных периодов. «Подобные грехи, — по свидетельству авторитетного палеонтолога С. В. Мейена, — числятся за каждой стратиграфической группой». Дело осложняется тем, что полные разрезы крайне редки. Хорошо, если обнаруживается 4—5 периодов, как в Большом Каньоне (р. Колорадо), а таких случаев, чтобы разрез содержал все 12 периодов, вообще нет. *Значительная часть земной поверхности не имеет и трех геологических периодов*. Далеко не во всех пластах удается обнаружить окаменелости, чтобы приурочить пласт к конкретному периоду; часто старшинство слоев определяется очередностью их залегания — стратиграфически (<лат. stratum слой).

В основу геохронологии одним из основателей геологической науки Чарльзом Лайелем, автором труда «Основные начала геологии» (1830 г.), были положены принципы *актуализма* и *униформизма*: ныне действующие (актуальные) факторы дождь, ветер, вулканизм, горообразование объясняют строение и современных и древних пород; эти факторы всегда имели равную интенсивность, т. е. были униформными. Возраст пород Ч. Лайель предложил определять (датировать) по палеонтологическим останкам или, как теперь говорят, руководящим ископаемым (Лайель употреблял термин «индекс ископаемых форм»).

Лайель критически относился ко многим положениям гипотезы эволюции, но его последователи прочно обосновали геохронологию на еще не подтвержденных фактическими данными эволюционных представлениях. Ведь установить возрастные соотношения геологических слоев, залегающих на большом расстоянии друг от друга, как правило, невозможно, наличие же останков организмов расставляет вполне конкретные опорные точки.

Так, породы девонской системы впервые были выделены в графстве Девоншир (учителем Дарвина Сэджвиком, 1839 г.), а пермской — в Пермской губернии (Мурчисоном, 1841 г.). Возрастное соотношение между этими породами ученые определили по останкам. В девонширских отложениях широко распространены рыбы, а в пермских — пресмыкающиеся. Согласно эволюционным представлениям, пермские отложения моложе, поэтому должны располагаться на шкале выше девонских. Эволюционная гипотеза выделяет на развитие рыб в пресмыкающихся 100—120 млн лет, и это значение берется за разницу в возрасте пермских и девонских отложений. Так геохронологическая шкала оказалась привязанной к миллиардам лет гипотетической эволюции.


Геологические слои

О некорректности подобного подхода авторитетный седиментолог (седиментология — геологическая дисциплина, изучающая осадочные отложения) С. И. Романовский пишет: «Лайель за норму брал современное состояние Земли, а приняв эволюционную теорию Дарвина, невольно стал историю Земли подменять историей жизни. От Лайеля этот грех перешел и к другим поколениям геологов. Многие из них не избавились от него по сию пору».

Приведем для наглядности упрощенный пример. Предположим, после сильных дождей с гор сошел сель, и морской залив оказался погребенным вместе с его обитателями. Через неведомое количество времени на этом месте вырос лес, и в нем поселились звери. Очередная катастрофа погребла и их. Указывают ли два таких пласта на эволюционное развитие жизни в течение миллионов лет? Конечно, нет. Современные ученые приходят к выводу, что последовательность слоев вовсе не является медленным и постепенным запечатлением в камне истории развития жизни, а является следствием катастроф.

Ученые-креационисты со времен Кювье рассуждают следующим образом. Если на современной Земле живые организмы покрыть осадками, что мы увидим в недрах? Моллюски, кишечнополостные, рачки окажутся внизу, поскольку живут на дне морей. Выше расположатся рыбы, затем земноводные и пресмыкающиеся: они живут в прибрежных экологических зонах. В самых верхних слоях окажутся млекопитающие и птицы. Такие слои будут напоминать геохронологическую шкалу, но не будут доказывать эволюционного саморазвития от простых существ к более сложным. «*Практически все палеонтологические границы появления и исчезновения видов не могут считаться эволюционными,* — пишет Мейен, — *их обоснование является экологическим*».



Радиоизотопные методы датирования. Для подтверждения геохронологической шкалы нередко приводят результаты датировок изотопными методами: уран-свинцовым, калий-аргоновым, радиоуглеродным и некоторыми другими. К примеру, в число продуктов распада урана входят изотопы свинца Pb-206, Pb-207, Pb-208. По соотношению урана и свинца в образце судят о продолжительности распада и возрасте породы. В методе изохрон сравнивают долю изотопа Pb-204 (он не образуется от распада) в образце, содержащем уран, с его долей относительно Pb-206, Pb-207, Pb-208 в образце того же пласта, но, как предполагается, никогда уран не содержавшем.

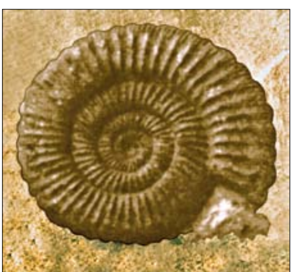
Изотопные методы появились только в середине XX в. и лишь вписались в сформировавшуюся систему, основанную на гипотезе эволюции. Датировки одного и того же пласта могут сильно различаться. Из необычайно широкого спектра значений признаются истинными именно соответствующие сложившимся представлениям. Поэтому к данным радиоизотопной хронологии следует относиться с большой осторожностью. Об этом предупреждает и палеонтолог С. В. Мейен: «Нередко в качестве внешней шкалы (по отношению к последовательности слоев) изображается радиометрическая шкала абсолютного времени, с чем нельзя согласиться. Дело не столько в техническом несовершенстве абсолютных датировок, сколько в том, что они принимаются лишь в том случае, если не вступают в противоречие с временными отношениями конкретных геологических тел».

Современное датирование слоев преимущественно биологическое. Если, к примеру, в геологическом образовании обнаруживают каменноугольные леса, то независимо от радиодатировки образование относят к палеозойской эре (400 млн лет назад), если же вдруг найдутся динозавры или аммониты, то, как правило, производится передатировка на мезозойскую эру (200 млн лет).

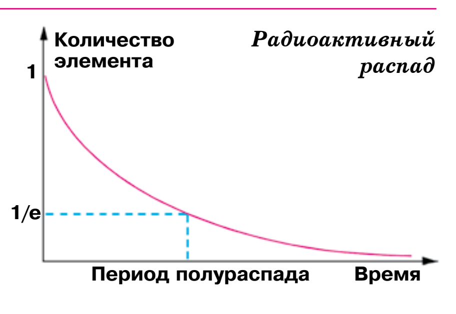
Во многих случаях изотопное датирование невозможно из-за отсутствия в геологическом пласте определенных пород и минералов, а если они и имеются, применение изотопных методов дает слишком большие расхождения, причины которых таковы:

а) невозможно узнать первоначальное содержание урана и свинца в коренной породе;

б) процесс формирования осадочных пород, в которых и находят большинство окаменелостей, предполагает перемещение водных масс и различную степень вымывания изотопов.



Руководящие ископаемые — аммониты. По эволюционным представлениям, они обитали на планете 70—220 млн лет назад



Применение K-Ar метода за-труднено еще и тем, что калий особенно легко вымывается водой, а аргон — газ. К тому же исследования показали, что большое содержание аргона в глубинных породах, показывающее больший возраст, зачастую связано не с продолжительностью радиоактивного распада, а с высоким давлением при затвердевании породы, содержащей аргон магматического происхождения.

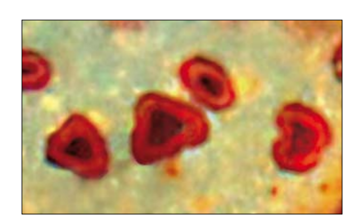
Изотопные методы слишком часто дают неверные результаты. Бывают досадные случаи. Возраст свежих лав в Новой Зеландии оказался равным 3 млн лет, возраст лавового купола на Сент-Хеленсе (извержение 1986 г.) составил 2 млн лет, возраст четвертичных базальтов плато Колорадо (по принятой шкале им не более 10 тыс. лет) достиг 2 млрд лет. При получении новых противоречивых данных специалистам приходится заново пересматривать методику. Неудивительно, что лаборатории вообще не принимают на изотопный анализ образцы, если не указать их ожидаемый примерный возраст, с учетом которого и выбираются фрагменты образца породы, при этом предполагается, что в других фрагментах изотопный состав по каким-то причинам нарушен.

В современной науке складывается все более осторожное отношение к данным изотопного датирования.

Возраст планеты. До середины XIX в. мир считался сотворенным за шесть дней около 7 500 лет назад в соответствии с текстом Библии. Но данные изотопного датирования показывают миллиардолетний возраст планеты: период полураспада урана 4,5 млрд лет (за этот срок половина урана становится свинцом), а уран обнаруживают в образцах примерно пополам со свинцом. Покажем, что такой расчет справедлив, только если Земля появилась сама по себе и не была сотворена Богом.

В соответствии с одним из предположений ученых, Земля когда-то была горячим шаром, при охлаждении которого в земной коре произошла кристаллизация урановых слюд, дающая чистое вещество, подобно тому как в кристаллизации поваренной соли другие соли не участвуют, и в результате образуется сравнительно чистая соль NaCl. Поэтому ученые полагают, что изначально в веществе отвердевающей коры изотопы урана не содержали изотопов Pb-206, Pb-207, Pb-208.

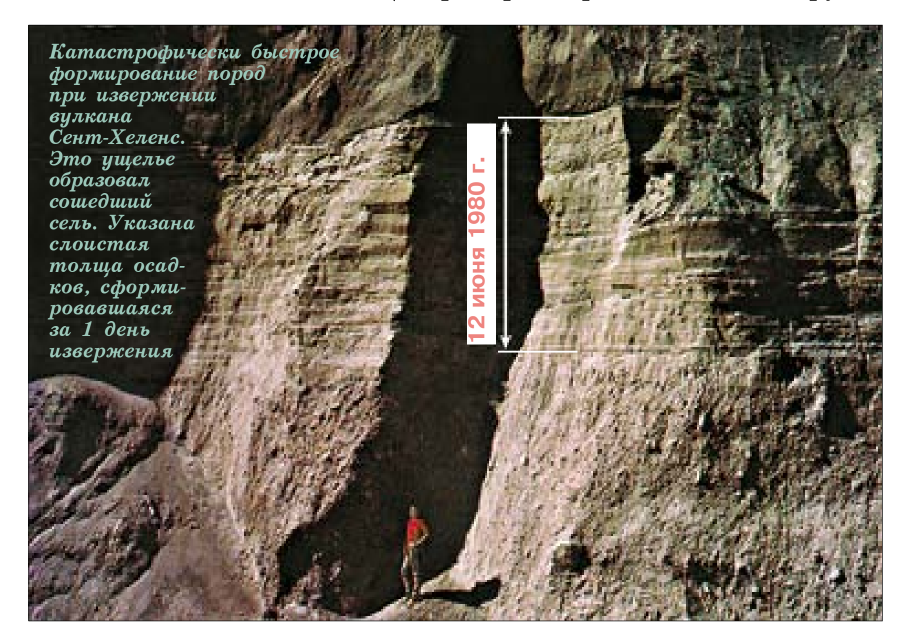
Но, если Земля сотворена и не была огненным шаром, тогда предположение о чистоте изначальных радиоактивных веществ отпадает. Значит, радиоизотопными методами невозможно доказать, что планета существует миллиарды лет.



Прекрасно сохранившиеся эритроциты динозавров мелового периода, датировка — 100 млн лет

Наличие в недрах окаменелых останков вовсе не свидетельствует о глубокой древности: окаменевание происходит довольно быстро — иногда в течение десятков лет. С другой стороны, среди находок обнаруживают, например неокаменелые кости динозавров. В них находят нераспавшиеся цепи (30—40 аминокислот) такого нестойкого белка как гемоглобин, эластичные кровеносные сосуды и даже эритроциты. Значительное количество подобных находок, показывающих сохранность ничуть не худшую, чем окаменелости каменного века, существенно поколебали веру многих ученых в привычные уже миллионы лет существования жизни на земле.

Моделируя процессы природных катастроф (извержения вулканов, заваливание организмов животных и растений толщами грунта), ученые в лаборатории получают торф, уголь и нефть в течение нескольких часов. По расчетам авторитетного седиментолога С. И. Романовского, все, что мы видим в пластах осадочных пород, образовалось за 0,001—0,0001 % от традиционно приписываемых этим породам миллионов лет. То есть палеозой-кайнозойская толща (570 млн лет) могла сформироваться всего за 570—5 700 лет (например, в процессе потопа, других

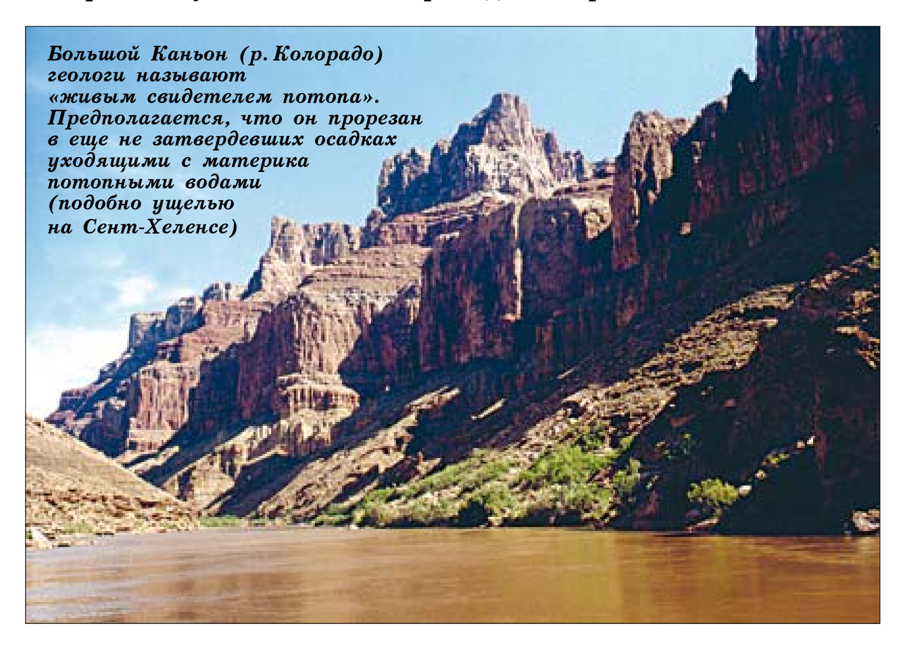


Катастрофически быстрое формирование пород при извержении вулкана Сент-Хеленс. Это ущелье образовал сошедший сель. Указана слоистая толща осадков, сформировавшаяся за 1 день извержения

катастроф), а где же тогда остальные сотни миллионов? Они заключены в перерывах и не оставили никаких следов, ученые назвали эти перерывы «ненаблюдаемыми и непроверяемыми». Любопытно, что если мы отбросим эти перерывы, то получим вполне библейский возраст осадочных накоплений — несколько тысяч лет.

Некоторые ученые считают несомненной реальностью миллионы лет, макроэволюцию, под которой понимают «постепенное пошаговое творение», а под днями сотворения мира — длительные временные периоды. Это научное направление (*теистический эволюционизм*) получило развитие в нашей стране в 1980-е годы. Для согласования Писания и научных данных ученые предложили под шестью днями творения понимать длительные периоды с момента Большого взрыва. Было показано, что эволюционная последовательность появления жизни (образование Земли, появление жизни сначала в воде, а затем на суше) совпадает с порядком событий шести дней сотворения мира.

За минувшие годы многое изменилось в нашей стране. Стали доступными богооткровенные писания святых (см. приложения), ранее закрытые (в СССР) научные книги и статьи, появились и новые данные. Наблюдается все больший интерес научного мира к возможности согласования науки с библейским шестодневом без натяжек, понимая под днями творения 24-часовые дни, а под сотворением — первое чудо Божие создания мира «из ничего», а вовсе не эволюционную трансформацию неживой материи. Наука постепенно приходит к признанию истинности



Большой Каньон (р. Колорадо) геологи называют «живым свидетелем потопа». Предполагается, что он прорезан в еще не затвердевших осадках уходящими с материка потопными водами (подобно ущелью на Сент-Хеленсе)

Священного Писания. По словам вице-президента Российской академии наук академика В. Е. Фортова, «факты, которые накопили в последнее время разные научные дисциплины, ставят под сомнение казалось бы незыблемые теории прошлого, такие как дарвинизм, теория самозарождения жизни на Земле, общепринятое начисление геологических эпох. Последние данные палеонтологии и антропологии обнаруживают поразительно много общего с основными положениями Библии».

Наш знаменитый соотечественник святой Иоанн Кронштадский еще в начале XX в. предупреждал геологов об ошибочности эволюционных выводов: «А вы, геологи, хвалитесь, что уразумели в построении слоев земли ум Господень и утверждаете это наперекор Священному Бытописанию! Вы более верите мертвым буквам слоев земных, бездушной земле, чем вдохновенным словам великого пророка и боговидца Моисея». В соответствии с гипотезой эволюции, смерть и тление были до появления первого человека, в первозданном мире еще, согласно же писаниям святых отцов Церкви, смерть и тление появились лишь с грехопадением Адама.

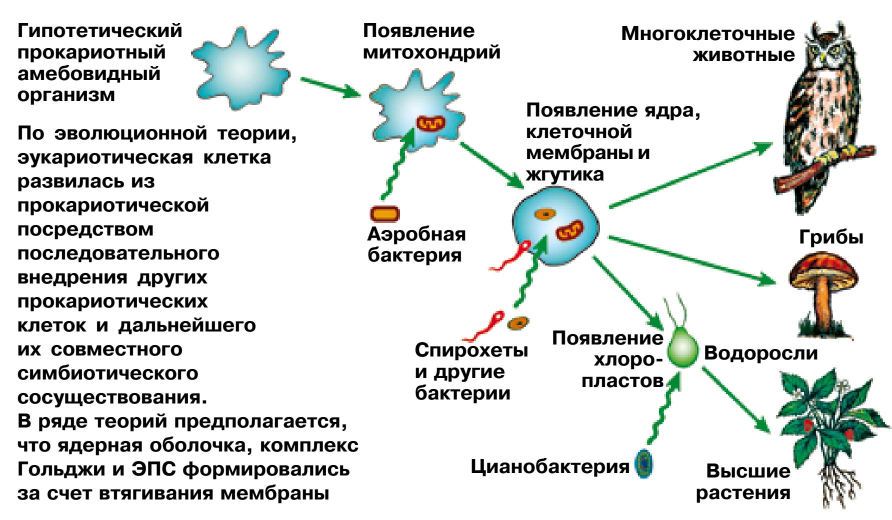


1. Какова креационная модель формирования слоев?
2. На каком принципе основал геологию Ч. Лайель? Что об этом говорят современные геологи?
3. Каков разброс данных изотопного датирования? Какие данные принято считать верными?
4. Что показали исследования палеобиологов?

§ 49. Отсутствие переходных форм

Бездоказательность гипотезы эволюции. Для того чтобы научно доказать, что одни организмы когда-то в прошлом преобразовались в принципиально другие, необходимо обнаружить в земных недрах массовую и постепенную трансформацию одних в другие (от нижних древних слоев к верхним, более молодым). Но нигде на планете такие трансформации не прослеживаются. Ученые-эволюционисты называют различные причины: неустойчивость переходных форм, их малочисленность, фрагментарность палеонтологической летописи... Каковы бы ни были причины, гипотеза эволюции остается бездоказательной. Далее мы убедимся, что не только массовых и постепенных переходов, но и отдельных по-настоящему переходных форм нигде не обнаружено.

К *докембрийским* слоям относят породы, содержащие в основном *бактерии*. Долгое время бактерии считались предками эукариотов. Но глубокие различия, обнаруженные биохимиками в строении их РНК, показали невозможность эволюции от прокариотической клетки к эукариотической.



Гипотеза симбиотического возникновения эукариот

В Австралии, в местечке Эдиакара были обнаружены медузы, сидячие кишечнополостные морские перья и организмы, похожие на примитивнейших членистоногих, плоских червей и моллюсков. Отличительной чертой этих форм является полное отсутствие минерального скелета. Эдиакарскую фауну, обнаруженную теперь в нескольких местах планеты и датируемую 1,5 млрд лет, невозможно увязать с известными живыми формами, эти существа не могут являться предками более поздних видов.

В *кембрийских* слоях организмы вдруг появляются сразу в необыкновенном изобилии: миллионы окаменелостей по всей Земле — так называемый кембрийский взрыв. Это губки, медузы, моллюски, разнообразные членистоногие, но так ли они примитивны, как может показаться? Наиболее распространенный из членистоногих — трилобит — имел глаза, состоявшие из сотен ячеек с двойными хрусталиками из ориентированного кальцита, что позволяло избежать аберрации. (оптические искажения). Совершенство глаз трилобита всегда удивляло ученых. По мнению исследователей, только строения сетчатки глаз трилобита достаточно, чтобы опровергнуть гипотезу Дарвина. Как могло получиться, что таким совершенством были наделены первые живые существа?



Кембрийские трилобиты обладали удивительно совершенными глазами. Поднимаясь на длинных стебельках, глаза видели сразу все вокруг

Кембрийские организмы настолько сложны, что для их появления потребовались бы, по самым скромным оценкам ученых-эволюционистов, сотни миллионов лет. Могли ли они развиться друг из друга? Различные типы — губки, кишечнополостные, членистоногие, моллюски, иглокожие — отличаются друг от друга и четко разграничены. Связующие звенья между ними отсутствуют, *ни один класс ископаемых беспозвоночных не связан с другим промежуточными формами*. Об этих любопытных фактах писали такие известные ученые, как Ж. Кювье, В. А. Догель и В. Н. Беклемишев. Предковые формы кембрийских существ должны были бы рождаться и умирать миллиардами, но ни одного из них нет в палеонтологических коллекциях. Ж. Кювье и его последователи справедливо связывали «кембрийский взрыв» с великим событием сотворения мира.

Далее, в *ордовикских* слоях, вдруг в большом количестве появляются *рыбы*. Предполагается, что черви некогда развились в бесчерепных животных (ланцетников), те — в бесчелюстных (миног, миксин), которые затем стали рыбами. Но преобразование червя в ланцетника — это коренное изменение организма, связанное с появлением хорды. Ланцетникам же, чтобы стать миногами, необходимо было «обзавестись» сердцем, почками, глазами (у ланцетников только светочувствительные пятна). От миног к рыбам — не менее грандиозный переход: их примитивный череп должен был превратиться в полноценный череп с челюстью, а элементарно устроенные дыхательные мешки — в жабры.

Процесс эволюции червей в бесчерепных, тех — в бесчелюстных и далее — в рыб, как считают ученые, должен был занять десятки миллионов лет, производя миллиарды переходных форм, но они не найдены. «Я должен сказать, что рыбы, известные мне, происходят совершенно определённо из ничего», — пишет президент Линнеевского общества ихтиолог Э. Уайт.

Затем, в верхнем девоне, также без промежуточных звеньев появляются земноводные. Миллионы останков рыб, земноводных и пресмыкающихся найдены на каждом континенте, но промежуточные звенья между плавниками рыб и конечностями четвероногих неизвестны. «Давно вымершая» кистеперая рыба латимерия (отряд целакантообразных) вместе с девонскими ки-

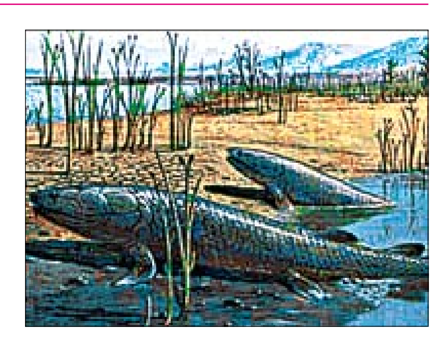
Современная и девонская кистеперые рыбы







Лопастеперая рыба тиктаалик и строение ее плавника, цветом выделены обнаруженные фрагменты



степерыми считалась предком ихтиостег (вымерших земноводных, внешне сходных с современными крокодилами и саламандрами). Предполагалось, что кистеперые, переползая на своих мощных плавниках из водоема в водоем, постепенно приспособились к жизни на суше. В 1938 г. латимерию удалось поймать живой и, исследовав, убедиться в том, что это просто рыба, причем глубоководная. Предполагавшихся легких не обнаружилось, как впрочем и ничего другого, отличающего ее от рыбы.

В верхне-девонских отложениях обнаружены лопастеперые рыбы. Они имели мощные плавники, на которые, возможно, могли опираться, выскочив на отмель за добычей. В сравнении с современными рыбами, у лопастеперых была более подвижная голова. Легких у лопастеперых рыб не было.

В верхнем карбоне аналогичным образом, «ни с того ни с сего», появляются *пресмыкающиеся*, которые уже не мечут икру, а дружно откладывают яйца в твердой оболочке. «Не известно ни одного образца подходящего предка пресмыкающихся», — сетуют эволюционисты.

Пернатое пресмыкающееся Microraptor gui имел перья, причем не только на передних, но и на задних конечностях, что позволяло рептилии планировать с дерева на дерево. Имели оперение и ряд нелетающих рептилий (например, Epidexipteryx),



Пернатый динозавр микрораптор гуи имел оперение на передних и задних конечностях

но в палеонтологической летописи не прослеживается постепенная эволюция от оперенных рептилий к птицам, отличия же в строении организма у этих таксонов значительны. Расположение окаменелостей в пластах настолько неупорядоченно и фрагментарно, что ученые гадают: пернатые динозавры превратились некогда в птиц, или же оперенные рептилии — это птицы, утратившие способность к полету.

Никаких животных с полуперьями-получешуей не обнаружено. Строение пера поражало многие поколения инженеров-конструкторов своей легкостью, прочностью и удивительными лётными качествами. Можно ли их считать нарушенной случайными мутациями чешуей рептилий? «Не поддаётся анализу, как могли возникнуть перья из чешуи рептилий», — констатирует Р. Кэролл.

Характерным признаком птиц является особое устройство воздушных мешков и легких, позволяющее дышать в полете. Изучение этих органов у мнимых «эволюционных предков» — мелких динозавров (тероподов) — показало их принципиальное отличие от воздушных мешков и легких птицы.

Не подтверждена палеонтологическими фактами и гипотеза о происхождении млекопитающих от пресмыкающихся. Современной науке прямые предки млекопитающих животных неизвестны, появление первого млекопитающего остается загадкой для ученых.

Может быть, промежуточные формы были съедены другими животными? Тогда почему не осталось даже скелетов и по какой причине оказались несъедобными сформировавшиеся виды? Ф. Хитчинг из Британского института археологии пишет: «Любопытно, что есть постоянство в «пробелах» окаменелостей: окаменелости отсутствуют во всех важных местах». Если границы сходных видов бывают трудноразличимы, то *границы надвидовых таксонов четко обозначены пробелами*.

Может быть, промежуточные звенья не обнаружены по причине недостатка палеонтологического материала? Нет, обилие окаменелостей (до подробного их исследования) считалось доказательством миллиардолетней истории. Вот что говорит об этом ученый Л. Сандерленд: «После более чем 120 лет широчайших и усердных геологических исследований каждого континента и океанического дна картина стала несравненно более ясной и полной, чем в 1859 г. (дата выхода дарвинского «Происхождения видов»). Были открыты формации, содержащие сотни миллиардов окаменелостей, в музеях хранится более 100 млн окаменелостей 250 000 различных видов».

В результате исследований обнаружились широкие «провалы» между видами. Несомненно, что, *если бы эволюция была реальностью, мы должны были бы найти миллионы окамене-*

лостей, которые показывали, как один вид жизни массово и постепенно переходил в другой. Но такой трансформации, необходимой для научной доказательности эволюции, нигде не обнаружено, более того, не встречаются и отдельные переходные формы. Исследования были столь тщательными и длительными, что если бы промежуточные формы когда-то существовали, то, несомненно, были бы обнаружены. По свидетельству профессора геологии и палеонтологии Гарвардского университета С. Гулда, большая часть видов возникает в окаменелостях «полностью оформленными» и такими же «заканчивает свою историю».

Многообразие мира растений тоже оказалось невозможным вписать в русло эволюции. Например, цветковые растения появляются в летописи окаменелостей сразу в большом количестве и полностью оформленными, что невозможно объяснить с позиций эволюционной палеонтологии. Ученые приходят к выводу, что ископаемые останки растительного и животного мира наглядно свидетельствуют в пользу сотворения мира.



1. В чем сложность объяснения «кембрийского взрыва»?
2. Опишите предполагаемую эволюционную последовательность появления крупных таксонов.
3. Какие доказательства эволюционного развития жизни искали ученые со времен Дарвина? Каков результат?
4. О чем свидетельствуют ископаемые останки растений?

§ 50. Псевдопереходные формы

Загадочный *археоптерикс* (ископаемая птица размером с голубя) долгое время считался переходным существом от летающих ящеров к птицам. Он имел на крыльях когти, но их имеют и современные птицы — гоацин и турако. Когти эти необходимы в тропических лесах, где взлететь на дерево из-за буйной растительности бывает не так-то просто, — проще залезть, и в особенности птенцам, которые летать еще не научились. По свидетельству авторитетного ученого А. Федуччиа, пальцы птиц никак не могли произойти от пальцев динозавров. Наличие у археоптерикса зубов вовсе не доказывает его происхождения от ящеров. Зубы имелись у многих вымерших птиц, а у некоторых современных пресмыкающихся они отсутствуют. Зубы археоптерикса, как и других ископаемых птиц, имели особое строение, которое, как указывает Федуччиа, не позволяет их считать эволюционно развившимися зубами динозавров.

У археоптерикса и перья, и крылья были полностью сформированы, его мозг имел зрительный отдел и развитый



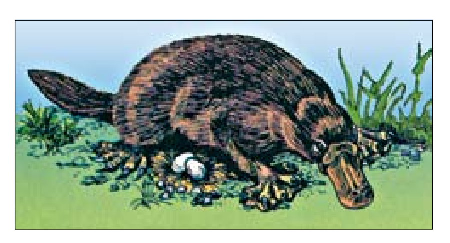
Окаменелые останки археоптерикса и внешний вид этой ископаемой птицы



мозжечок, как у современных птиц. Когти лап были развернуты в разные стороны, а сами лапы изогнуты, как у всех птиц, «коленками назад» (строго говоря, у птиц это уже не коленки), чтобы удобнее сидеть на ветках. В его скелете имелась и вилочковая кость, характерная для птиц, только не было киля, но его нет, например у страуса. Очень слабо развит киль у большинства буревестников. Археоптерикс обладал практически всеми признаками птицы. По мнению А. Федуччиа, на динозавра в перьях, как его представляют, это существо совсем не походило.

Хотя археоптерикс и имел необычные для современных птиц зубы и хвост с позвонками, но, по мнению С. Гулда и Н. Элдриджа, он не может считаться переходной формой, а лишь «диковинной мозаикой». Обнаружены и более древние предки птиц (Protoavis), жившие, согласно принятой шкале, на 75 млн лет раньше. Вдобавок к птичьим чертам археоптерикса у них был киль, легкие полые кости и веерообразный хвост. Эти птицы появились 225 млн лет назад по принятой шкале, — вместе с первыми динозаврами, которые неоправданно считаются их предками.

Существуют в природе удивительные животные, внешне как будто похожие на промежуточные звенья эволюции. Утконос, например, имеет пасть, похожую на клюв утки, и перепончатые лапы; он вьет гнездо из травы и высиживает яйца, как птица. Значит ли это, что



Загадочный утконос

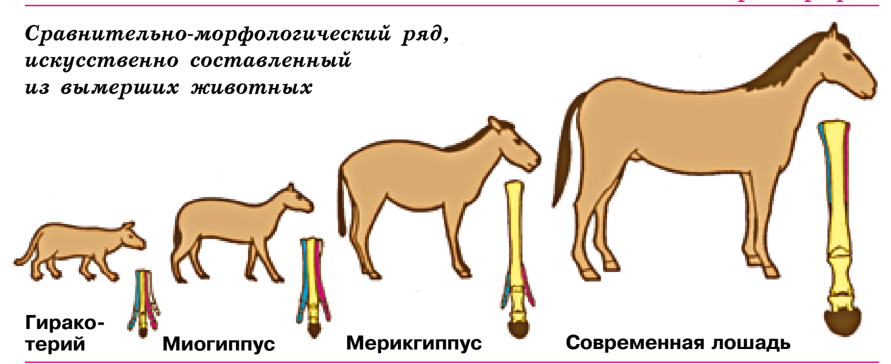
он эволюционировал из птиц? В то же время, у него самая настоящая шерсть, хвост — как у бобра, а детенышей он выкармливает молоком, как млекопитающее. Может быть, он эволюционировал из млекопитающих? Но между птицами и млекопитающими не должно быть промежуточных звеньев, так как считается, что птицы произошли от пресмыкающихся, их перья развились из чешуи.

Зверозубый ящер, предлагаемый в качестве переходного звена от пресмыкающихся к млекопитающим, — пресмыкающееся, у него лишь разного размера и назначения зубы, подобно тому как это бывает у млекопитающих. Некоторые вымершие зверозубые пресмыкающиеся (например, Probainognathus) имели челюсти повышенной надежности — с двойным челюстным суставом на каждой стороне: один сустав по типу сочленения млекопитающих, другой — пресмыкающихся, но никак не промежуточного строения. Эта конструкция вовсе не указывает на эволюционное развитие одного из другого.

Описанные животные удивительно сочетают в себе части тел разных видов, как своеобразные фрагменты мозаики, но такие фрагменты (перья археоптерикса, утиный нос и шерстный покров утконоса, зубы и челюстные суставы зверозубого ящера) имеют у них вполне законченную форму, а отнюдь не промежуточную. Столь значительные скачкообразные перемены в устройстве частей тела этих редких животных так же невозможно объяснить эволюцией, как и происхождение друг от друга самих видов.

Доктор К. Паттерсон, главный палеонтолог Британского музея естественной истории, написал большую книгу об эволюции. Отвечая на вопрос, почему он не привел в ней рисунков переходных форм, Паттерсон откровенно признался: «Если бы я знал хоть одну из них (живую или окаменевшую), то непременно включил бы ее в книгу». Полная неудача интенсивных поисков палеонтологов в течение более чем столетия показала, что промежуточные формы в природе никогда не существовали. Недостаток переходных звеньев беспокоил Дарвина. Он полагал, что когда-нибудь недостающие звенья будут обнаружены, но этого не произошло.

Рассмотрим недавнюю гордость эволюционной теории — *«лошадиную серию»*. Этот сравнительно-морфологический ряд выглядит вполне правдоподобно. Так последовательно, шаг за шагом якобы и сформировалась современная лошадь; кажется вполне очевидным даже эволюционное появление копыта. И что же? Детальные исследования показали, что «родословная» современной лошади, которую так любят выставлять многие музеи, составлена из останков животных, живших не в разные периоды, а одновременно. Ископаемые лошади были обнаружены



Сравнительно-морфологический ряд, искусственно составленный из вымерших животных

в разных частях планеты, и ничто не доказывает появления их на Земле в определенной последовательности. В тех же слоях, где появляются гиракотерии, появляется и современная лошадь. Большинство этих существ вымерло и нет никаких доказательств того, что эти животные действительно сменяли друг друга именно в таком порядке.

Все больше ученых признают, что существенная часть «родословной» лошади состоит из совокупности животных, не связанных между собой эволюционным родством, относя гиракотериев к родственникам барсуков.

Проверить и подтвердить эволюционную гипотезу может только палеонтология, только она может сказать последнее слово о достоверности эволюции. Переходных форм не существует. Член-корреспондент РАН генетик Л. И. Корочкин указывает, что «эволюционные события формулируются как спекулятивные, подтянутые под ту или иную экспериментально не верифицируемую концепцию».

Громадное здание эволюционных построений оказалось висящим в воздухе. Даже ревностный эволюционист С. Гулд вынужден признать, что «отсутствие окаменелых свидетельств промежуточных этапов между крупными переходами, наша неспособность даже в собственном воображении создать во многих случаях функциональные промежуточные формы» всегда были большой и сложнообъяснимой проблемой эволюционной гипотезы.



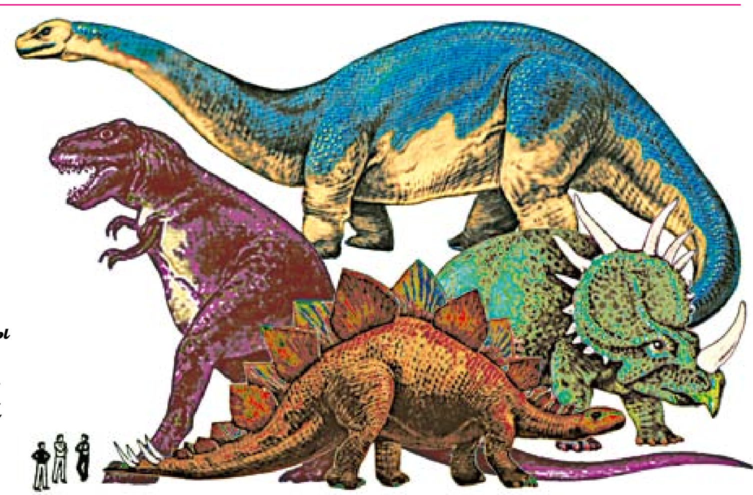
1. Какие три признака археоптерикса необычны?
2. Насколько отличаются перья птиц от чешуи?
3. Между какими крупными таксонами можно поместить утконоса? Почему его нельзя отнести к птицам?
4. Указывает ли строение зверозубых пресмыкающихся на развитие млекопитающих из пресмыкающихся?
5. По какой причине «лошадиная серия» не может служить доказательством эволюции?

§ 51. Древняя флора и фауна

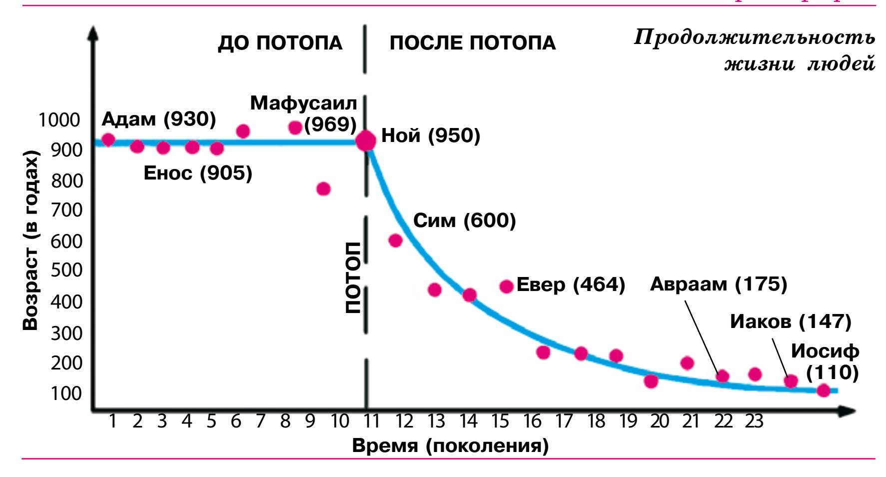
Останки богатейшей тропической флоры и фауны находят по всей планете, в том числе и на полюсах, что свидетельствует о значительно более теплом климате в прошлом. Некоторые животные и растения достигали огромных размеров, среди них встречались и современные виды. Видовое разнообразие среди вымерших организмов было в 1,2—4 раза больше, чем среди современных. Класс млекопитающих поделен на 20 современных и 17 вымерших отрядов, а в классе пресмыкающихся — ископаемых отрядов в 3,5 раза больше.

Согласно научным данным, количество CO_2 в атмосфере могло превышать современное содержание (0,03 %) в 5—10 раз. Углекислый газ способен вызывать парниковый эффект. Будучи прозрачным в видимой части спектра и пропуская солнечный свет к поверхности Земли, он поглощает испускаемое ею тепловое излучение — сохраняет тепло как своеобразная шуба. По расчетам ученых, увеличение количества CO_2 в десять раз в современной атмосфере привело бы к увеличению среднегодовой температуры на экваторе на 6—8 °C, а в полярной зоне она стала бы даже положительной. Почему так неравномерно? Экваториальная атмосфера насыщена водяными парами, а полярная их почти не содержит. Повышение средней температуры в северных широтах приводит к резкому увеличению в атмосфере количества водяных паров, которые также обладают парниковым эффектом.

В современной полярной атмосфере паров почти нет, она настолько прозрачна, что полярным днем поток солнечного света на полюсах втрое мощнее, чем на экваторе. Все это излучение



Динозавры росли в течение всей своей долгой жизни



Продолжительность жизни людей

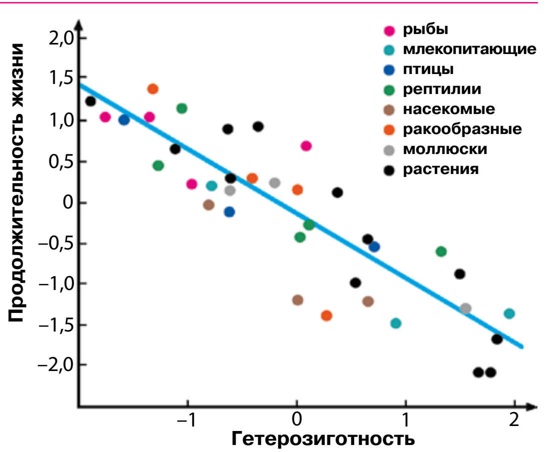
уходит в космос вследствие прозрачности воздуха и вдвое меньшей толщины тропосферы (8—10 км, а на экваторе 16—18 км).

В современных условиях 30 % солнечного света отражается обратно в космос, 20 % поглощается атмосферой и 50 % — почвой и океаном. При постоянстве среднегодовой температуры вся получаемая от Солнца энергия излучается обратно в мировое пространство в тепловом диапазоне. В древности задерживаемое тепло шло на поддержание весьма теплого климата от экватора до полюсов. Планета напоминала большой парник.

Как повествует Библейская Книга Бытия, первые люди жили по 800—900 лет. Попытаемся разобраться, подтверждают ли какие-нибудь научные факты эти цифры.

Если первые люди жили столь долго, то, вероятно, и другие организмы жили дольше. Продолжительной жизнью можно объяснить, например, огромные размеры динозавров, ведь пресмыкающиеся растут всю свою жизнь! Если продолжительности жизни древних людей нанести на координатную плоскость, то получится наглядный график быстрого их сокращения после потопа. Примерно за четыре поколения продолжительность жизни постепенно сократилась втрое. С чем это могло быть связано?

Согласно предположению академика Ю. П. Алтухова, столь длительная жизнь обеспечивалась тем, что практически все гены у первых людей были представлены доминантными аллелями (вспомним, что рецессивные аллели являются мутантными формами нормально функционирующих доминантных аллелей, с. 124). С этой гипотезой согласуются результаты исследований 77 видов животных и 30 видов растений. С увеличением гетерозиготности по генам, кодирующим ферменты, организмы быстрее созревают и быстрее старятся. Долголетие людей увеличивается с падением гетерозиготности в ряду: азиатские эскимосы, оленные чукчи, эвены Чукотки (в цивилизованных популяциях



Долголетие организмов падает с увеличением гетерозиготности. Поскольку оба параметра у разных групп организмов различны, то показаны относительные отклонения от средних («нулевых») значений долголетия и гетерозиготности у 37 видов животных и растений (по Ю. П. Алтухову)

продолжительность жизни увеличивается благодаря медицинскому обслуживанию). Известно также, что в Абхазии, где высок процент долгожителей, темпы роста и созревания замедлены. Из текста Книги Бытия следует, что древние люди до Ноя рождали первенцев в возрасте около 200 лет, т. е. достигали половозрелости позже. Расчет показывает, что продолжительность жизни людей превышала период роста и созревания до потопа примерно в 5,35 раза, после потопа — в 7,68. Академик Ю. П. Алтухов указывает на удивительную корреляцию этих чисел с современными научными данными по различным группам организмов (среднее превышение составляет 6 раз).

Ответ на вопрос о причинах долголетия есть и в богословском наследии. «По мере того как мы продвигаемся с вершины на вершину знания, внезапно обнаруживается, что каждую из

Размах крыльев древней стрекозы достигал 0,5 метра



них давным-давно освоили богословы», — писал открыватель электрона Дж. Томсон. После грехопадения близость смерти стала необходимой человеку для очищения собственной души, она отрезвляет, помогает стать лучше (добрее и терпеливее относиться к людям, тщательнее соблюдать заповеди Божии), многие знакомы с этим на собственном опыте. Если мы, современные люди, много болеем и рано умираем, но все же забываем о жизни вечной, то насколько мы жили бы легкомысленнее, если бы обладали крепким здоровьем и тысячелетней жизнью, а тем более бессмертием? Временная смерть нашего тела — преграда греху, защита от вечной смерти души. «Благодетельно установлена смерть», — сказал святитель Иоанн Златоуст. Согрешил первый человек — и стал смертным; умножились согрешения в допотопном человечестве — и продолжительность жизни после потопа сокращена Творцом вдесятеро. А жизнь окружающих человека существ поставлена Творцом в зависимость от жизни царя-человека. Согрешил Адам — и вся тварь стала смертной и тленной; погрязло в грехах допотопное человечество — и сократились сроки жизни и физическая мощь как человека, так и других живых организмов.

Почему же современная планета так разительно отличается от древней? Если организмы осадочных отложений от кембрия до кайнозоя (эти породы сформировались, согласно креационной катастрофической модели, в основном во время Потопа) жили не слишком давно, почему они так отличаются от современных?

По воле Творца появился этот мир, по Его воле появился на свет Адам, по Его же воле потоп уничтожил древний мир, изменив флору и фауну планеты. Некоторые причины этих перемен, возможно, состоят в следующем. Потоп и сопровождавшие его продолжительные дожди, согласно научным данным, могли вызвать значительное вымывание CO_2 из атмосферы, а значит, ослабление парникового эффекта и снижение средней температуры, особенно в северных широтах. К изменениям общепланетарного климата могли привести и другие крупные катастрофы, повлиявшие на растительный и животный мир.



1. Каковы возможные причины теплого климата в древности?
2. По какой причине люди жили значительно дольше? Почему динозавры достигали огромных размеров?
3. Какие перемены флоры и фауны произошли к настоящему времени? Расскажите о возможных причинах.

Рекомендуемый дополнительный материал к главе 11: Вертьянов С. Происхождение жизни. — Гл. 1, 3, 5, 6. — М.: Свято-Троицкая Сергиева Лавра, 2009.

Глава 12. ВОЗНИКНОВЕНИЕ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ

В вопросе о возникновении жизни ученые разделились на две группы: одни полагают, что все живое происходит только от живого посредством *биогенеза*, другие считают возможным *абиогенез* — появление живого из неживого. Первые признают Творца, а последние считают материю существующей самостоятельно. Но есть и исключения. Сторонник биогенеза академик В. И. Вернадский оставался материалистом и утверждал, что «жизнь вечна, как вечен космос», а немецкий математик Г. Лейбниц полагал, что неживая материя постепенно формирует живую под действием Духа Божия.

В XIX в. французский ученый Луи Пастер доказал невозможность самозарождения живых организмов даже в питательном растворе, тщательно прокипяченном и закрытом от проникновения микробов. За свои эксперименты он получил специальную премию французской Академии наук. Л. Пастер, основавший микробиологию и иммунологию, открывший анаэробные бактерии и причину брожения, по поводу идеи самозарождения жизни говорил, что «потомки в один прекрасный день от души посмеются над глупостью современных нам ученых материалистов».

В 1920-х гг. русский биохимик А. И. Опарин и английский биолог Дж. Холдейн независимо друг от друга выдвинули гипотезу, согласно которой появлению жизни предшествовал длительный период абиогенного образования и накопления органических соединений под воздействием молниевых разрядов и ультрафиолетового излучения. Эти соединения образовали «первичный бульон», в котором формировались сгустки — *коацерватные капли*. В коацерватах начался синтез новых соединений из органических молекул «бульона», постепенно они приобрели способность размножаться и образовали примитивные проклетки — *пробионты*.

В 1955 г. американский исследователь С. Миллер моделировал предполагаемые условия древней планеты, пропуская электрические разряды величиной до 60 кВ через смесь CH_4, NH_3, H_2 и паров H_2O при температуре 80 °С и давлении в несколько паскалей. Миллеру удалось получить всего лишь уксусную и муравьиную кислоты, наипростейшие жирные кислоты и в небольшом количестве некоторые аминокислоты.

§ 52. Абиогенез и законы термодинамики

В рамках эволюционной теории до сих пор не удается решить один из главных вопросов: откуда появились первые организмы? Если эволюцию животных можно себе хотя бы

представить, то как объяснить самопроизвольное зарождение живых существ? Могла ли неживая материя произвести жизнь, нас с вами? Совершенно естественно, что положительный ответ всегда вызывал сомнение. Известный физик В. Гейзенберг, один из создателей квантовой теории, одобрительно отзываясь о своем знаменитом коллеге В. Паули, писал: «Паули скептически относится к очень распространенному в современной биологии дарвинистскому воззрению, согласно которому развитие видов на Земле стало возможным лишь благодаря мутациям и результатам действия законов физики и химии».

Обратимся к научным фактам и рассмотрим начало предполагаемого абиогенеза. Вероятность случайного появления в коацервате функциональной белковой молекулы среднего размера — всего 10^{-325} (расчет на с. 11). Нужно собрать 10^{325} комбинаций аминокислот, чтобы получился один нужный белок. Насколько велико это число? Во всей видимой части Вселенной около 10^{80} электронов. Если в каждом ее электроне разместить свою Вселенную, в каждом электроне которой тоже находится Вселенная, все электроны которой содержат по целой Вселенной, тогда будет 10^{320}.

Заметим также, что биологически активные белки содержат аминокислоты исключительно левого вращения, а сами по себе в природе могут образовываться лишь смеси правых и левых форм в случайных пропорциях. Невозможно представить, чтобы аминокислоты левого вращения сами по себе собирались отдельно от правых форм и формировали белки. Если аминокислот левого и правого вращения поровну, то вероятность того, что в белке из 500 аминокислот все они случайно окажутся левой симметрии, составляет всего лишь $(1/2)^{500}$, или 10^{-160}.

Процесс самоусложнения молекул невозможен и по другой причине. Согласно второму началу термодинамики, всякая молекулярная система, предоставленная себе самой, стремится к состоянию наибольшего хаоса. Поэтому, например, тепло не передается самопроизвольно от менее нагретого тела более нагретому, а распределяется равномерно. Поэтому, приезжая весной на дачу, мы можем обнаружить лишь прохудившуюся крышу да покосившийся забор, а отнюдь не самим собой возникший второй этаж. Рассматриваемое явление самоформирования белков противоречит эмпирическому опыту ученых, сформулировавших второе начало термодинамики.

Появление порядка наблюдается нами в природе, но это отнюдь не самоупорядочение. Вода скапливается в низких местах, образуя лужи, а замерзая в воздухе — симметричные по форме снежинки. Многие вещества обладают свойством формировать кристаллы. Эти состояния просто-напросто отвечают минимуму потенциальной энергии и сопровождаются выделением теплоты,

так что в целом степень хаоса увеличивается (чем выше температура, тем больше хаоса в броуновском движении молекул вещества).

Переходы в более упорядоченное состояние возможны лишь в некоторых исключительных случаях неравновесных, необратимых процессов в открытых системах (теорию самоорганизации неравновесных термодинамических структур основал французский физик русского происхождения И. Пригожин). Но нет никаких причин считать предполагаемый процесс образования белков неравновесным, необратимым. Ведь катализаторов подобной сборки в первоокеане быть не могло, не было и положительных обратных связей (когда появление нужных промежуточных молекул ускоряет образование таких же). А развал белков интенсивно усиливался бы ультрафиолетовыми лучами, гидролизом и разнообразными химическими веществами первоокеана. В живых организмах ферменты ведут синтез со скоростью, в десятки раз превышающей скорострельность пулемета (тысячи операций в секунду). Иначе и нельзя: промежуточные молекулы очень нестабильны и могут распадаться, целые «бригады сборщиков» (группы молекул) сменяются сотни раз в секунду.

Самосинтез в каждый момент шел бы и вперед посредством флуктуаций (случайного появления нужных молекул), и еще быстрее — назад, через развал новой структуры из молекул аминокислот, то есть равновесным и обратимым образом. Вероятность же гигантской флуктуации, приводящей к появлению белка целиком, ничтожно мала. Пригожин и его коллеги не смогли и приблизиться к доказательству того, что огромное количество информации, необходимое для самовоспроизведения молекул, могло накопиться естественным путем. Теория самоорганизации Пригожина—Арнольда—Хакена предлагает лишь некоторые теоретические размышления и аналогии, весьма далекие от доказательств возникновения жизни из хаоса, что бесспорно признавал и сам И. Пригожин. Комментируя некоторые явления упорядочения, теория самоорганизации не в состоянии объяснить начало жизни — появление белковых молекул.

Живые организмы, несомненно, обладают свойством самоорганизации, увеличивая свою упорядоченность, но их функционирование не объясняет появления жизни. На земле из семян вырастают деревья, используя энергию солнца, минеральные вещества и углекислый газ. Зерно или яйцеклетка уже содержат всю необходимую генетическую программу для полного развития во взрослый организм. Яйцеклетка представляет собой весьма сложную структуру, наделенную всеми метаболическими системами, необходимыми для жизни. Но как появились первые существа — остается для эволюционной гипотезы неразрешимой загадкой.



1. В чем отличие биогенеза от абиогенеза?
2. Расскажите об исследованиях Пастера, Опарина и Миллера.
3. Какие особенности строения белков исключают их случайное появление?
4. Возможно ли, согласно второму началу термодинамики, самоформирование жизненно важных макромолекул?
5. Что позволяет живым организмам самоупорядочиваться?

§ 53. Абиогенез с позиций биохимии

Многие ученые пытались осуществить абиотический синтез белков из смеси аминокислот. Однако было получено лишь некое отдаленное подобие белков, так называемые термальные протеиноиды, состоящие из полимерной сетки (не цепочки!) аминокислот с не α-пептидными связями. Существующие в белке α-пептидные связи формируются на рибосомах при участии ферментов. При случайном образовании связей лишь ничтожная часть из них оказывается α-пептидными. Полимерная сетка не обладала пространственной структурой белка, не имела свойственной ему совершенно определенной последовательности соединения молекул и соответственно не имела никакого отношения к жизни.

В процессе воспроизведения белков в живых существах участвуют ДНК, мРНК, не менее 20 различных тРНК (каждая со своей аминокислотой) рибосомы (состоящие из 3—4 рРНК и 55 различных белков), целый комплекс ферментов. Необходимо еще тонкое энергетическое обеспечение посредством АТФ: для синтеза среднего белка требуются тысячи молекул АТФ — обыкновенный подогрев или освещение Солнцем могут только разрушить молекулярные связи. В синтезе белка участвует вся живая клетка, нарушение хотя бы одного из компонентов блокирует процесс. Сам факт функционирования этой сложнейшей системы в организме вызывает удивление и восхищение мудростью Создателя, возможность же самопроизвольного синтеза белков биохимики абсолютно исключают.

ДНК не имеет полной стабильности даже внутри живой клетки. Ее состав контролируется и поддерживается определенными ферментными системами. Эта макромолекула функционирует в состоянии динамического равновесия возникающих в ее строении нарушений и их исправления системами репарации. Вне клетки ДНК быстро разрушается. Лауреат Нобелевской премии Ф. Крик, открывший двуспиральность ДНК, категорически отрицает возможность самопроизвольного возникновения жизни из химических элементов Земли.

И даже если биологическая макромолекула откуда-то бы появилась — это еще не живая клетка. В состав клетки входит множество макромолекул, соединенных в определенном порядке. Вероятность случайного образования необходимых клетке ферментов (хотя бы один раз за миллиард лет), составляет всего $10^{-40\,000}$. Это число, как заявил известный астрофизик Фред Хойл, «достаточно мало, чтобы похоронить Дарвина и всю теорию эволюции». Если Солнечную систему заполнить людьми (10^{50} человек), каждый из которых вслепую крутит кубик Рубика, то указанная вероятность образования ферментов, необходимых живой клетке, примерно равна вероятности того, что у всех этих людей грани кубика одновременно окажутся собранными по цвету!

Одними ферментами состав клетки не ограничивается. Вероятность самосборки живой клетки из приготовленных необходимых атомов даже в самой благоприятной химической среде составляет всего $10^{-100\,000\,000\,000}$!

Почему же ученые игнорировали эти ничтожные вероятности? Специалисты в области самозарождения жизни, называя свою науку «весьма гипотетической», указывают, что расчеты вероятностей самозарождения никогда не производились и не принимались во внимание, поскольку эволюция считалась фактом. Ученые лишь пытались объяснить, как она могла произойти.

Самопроисхождение жизни — вовсе не такой уж естественный процесс, как наивно полагали последователи Дарвина. Напротив, с самого начала (зарождения сложных молекул) и до самого конца (появления человека) эта гипотеза представляет собой нелепое нагромождение невероятных, противоестественных случайностей. Справедливо заключить, что вера в схемы спонтанного абиогенеза противоречит здравому смыслу. Невозможность самозарождения жизни стала камнем преткновения всех прежних и новейших эволюционных гипотез.

Томас Эдисон, который изобрел современную лампочку, разработал телефон и телеграф, известен интересным высказыванием: «Существование Бога может быть доказано химическим путем». Предсказанное великим изобретателем доказательство сейчас перед нами: факты молекулярной физики и химии, генетики, биохимии доказывают невозможность случайного самопроисхождения живых существ. Выходит, Создатель все-таки есть? Всемирно известный физик Макс Борн, один из основателей квантовой теории, писал: «Время материализма прошло. Мы убеждены в том, что физико-химический аспект ни в коей мере не достаточен для изображения фактов жизни, не говоря уже о фактах мышления».



1. Какие молекулярные структуры живой клетки участвуют в воспроизведении белков? Считают ли биохимики возможным самосинтез белков в предполагаемом первоокеане?
2. Насколько ДНК была бы стабильной в отсутствие ферментов репарации?
3. Каковы вероятности случайного появления функционального белка, ферментов клетки, молекулярных структур живой клетки?
4. По какой причине ничтожность этих вероятностей не принималась во внимание?
5. О каком доказательстве бытия Бога, сотворившего мир, говорил Т. Эдисон?

§ 54. Невозможность самозарождения жизни

В рассмотренных нами возможностях самообразования макромолекул предполагалось, что на древней Земле отсутствовали условия, исключающие такую самосборку, хотя их было по меньшей мере два. Первое — разрушение формирующихся белковых молекул при участии воды (гидролиз). Второе — немедленное окисление формирующихся белков кислородом. Предполагалось, что в древности на планете отсутствовал кислород, и тогда-то смогли зародиться полипетиды, сформировавшие простейшие микроорганизмы. Но в самых древних породах содержится двуокись железа, так что нет оснований предполагать отсутствие кислорода в древней атмосфере. Если бы все же кислород отсутствовал, то ультрафиолет, проникающий сквозь такую бескислородную атмосферу, не имеющую защитного озонового слоя (озон формируется из кислорода), разрушил бы молекулы белков. Итак, идее самопроисхождения жизни не соответствует ни отсутствие кислорода, ни его наличие.

Есть и третье исключающее условие. Предполагалось, особенно после опытов Миллера, что первоатмосфера состояла из метана и аммиака — компонентов, необходимых для самосинтеза аминокислот. Как показали эксперименты и компьютерное моделирование древней атмосферы, эти газы разрушились бы ультрафиолетовыми лучами (поскольку кислорода и озона еще не было), а первичная атмосфера теоретически могла состоять лишь из азота и углекислого газа. Откуда же тогда появились аминокислоты, из которых состоят белки?

Ученые указывают на множество замкнутых порочных кругов в гипотезе самозарождения:

— белки закодированы в ДНК посредством генетического кода, — неизвестно, откуда появился этот код и как белки

оказались записанными в ДНК, каким образом ДНК, белки и генетический код оказались соответствующими друг другу;

— ДНК воспроизводятся только с помощью ферментов, кодируемых самой ДНК;

— белки синтезируются с помощью рибосом, которые сами состоят из белков;

— клеточные мембраны могут синтезироваться только на мембранах;

— АТФ синтезируются только на мембранных комплексах, синтез которых без самих АТФ невозможен.

Самообразование жизненно важных макромолекул требует огромного количества взаимоисключающих условий, не позволяющих соединить части теории молекулярной эволюции в целостную научную концепцию. Не разработано никакой серьезной научной теории о том, где, в каких условиях на Земле мог идти синтез белка. Существующие гипотезы включая новейшие (формирование жизни на основе не ДНК, а РНК-геномов, так называемый мир РНК) описывают только мелкие разрозненные фрагменты предполагаемого процесса, они выглядят искусственными и вызывают лишь улыбки специалистов. Среди современных биологов все меньше и меньше сторонников случайного происхождения жизни. Около 50 лет экспериментирования в области молекулярной эволюции привели, скорее, к лучшему пониманию масштабов проблемы возникновения жизни на Земле, чем к ее разрешению.

Процесс самозарождения при его всестороннем исследовании оказался решительно невозможным. Однако находятся энтузиасты, которые, следуя академику В. И. Вернадскому, пытаются реанимировать эволюционную гипотезу фантастическим предположением о самозарождении жизни неведомым образом где-то в космосе и последующем ее переносе на Землю метеоритом или даже сознательным посевом жизни на планете разумными существами (по Ф. Крику). Пленяя своей фантастичностью, новые гипотезы не объясняют происхождения жизни, а только перемещают проблему в космические глубины. Но законы физики универсальны. Все проведенные расчеты вероятностей будут справедливы и там, в неведомых глубинах Вселенной. И там будут все те же необыкновенно малые возможности самозарождения. Понимал это и Вернадский. Его учение о сфере разума родственно панпсихизму Т. Шардена (в 1920-е гг. Шарден слушал в Сорбонне лекции Вернадского), полагавшего, что атомы и молекулы тоже обладают психикой, а соответственно — могут самоусложняться и порождать жизнь. Вернадский тем не менее не допускал мысли, что существа могли развиться из неживой материи, а утверждал, что «жизнь вечна и передавалась всегда только от живых организмов живым организмам». Выдающийся

палеонтолог Б. С. Соколов говорил о «невозможности появления живого из неживого». Отрицал возможность материалистического появления жизни на Земле и наш известный биолог и палеонтолог С. В. Мейен.

Попытаемся осознать, насколько ничтожны вероятности самозарождения. Может ли обезьяна, шлепая по клавиатуре, случайно набрать «Войну и мир»? Как говорит математика, может, но вероятность такого события крайне мала,* примерно $10^{-5\,000\,000}$. Выходит, ожидая случайного появления одной простейшей клетки (вероятность ее самосборки см. на с. 245) даже в гипотетических идеальных условиях, мы надеемся на то, что обезьяне удастся 20 000 (100 000 000 000 / 5 000 000) раз подряд без единой ошибки набрать «Войну и мир»! Нелепо рассчитывать на подобные события.

Почему же мы, глядя на этот дивный мир, не утверждаем с уверенностью, что этот мир — прекраснейшее творение высшего разума?! Как утверждал это знаменитый физик Эрстед: «Все бытие есть сплошное творение Бога, всюду отпечатлевшее на себе бесконечно совершенный Его Разум». Или как утверждал это гениальный Ньютон: «Из слепой физической необходимости, которая всегда и везде одинакова, не могло произойти никакого разнообразия. Разнообразие сотворенных предметов могло произойти только по мысли и воле Существа Самобытного, Которое я называю Господь Бог».



1. Расскажите о трех главных условиях, исключающих самоформирование макромолекул жизни в предполагаемом первоокеане.
2. Удается ли современным исследователям построить непротиворечивую материалистическую теорию молекулярной эволюции?
3. В чем слабость гипотезы появления жизни на Земле из космоса?
4. Подумайте, почему некоторые люди, глядя на наш прекрасный мир, не убеждаются в том, что он — творение Божие?

Рекомендуемый дополнительный материал к главе 12: Вертьянов С. Происхождение жизни.— Гл. 4.— М.: Свято-Троицкая Сергиева Лавра, 2009.

---

* Примерный расчет: 55 знаков в строке × 40 строк × 1 400 страниц = 3 000 000 знаков; кнопок на клавиатуре 50, следовательно, вероятность случайного напечатания $1/50^{3\,000\,000} \cong 10^{-5\,000\,000}$.

Глава 13. ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЧЕЛОВЕКА

Большинство наших современников еще со школьного возраста привыкли относиться к гипотезе о происхождении человека от обезьяны как к великому научному открытию. Впервые рискнул сравнить человека с обезьяной в 1699 году Э. Тайсон. В 1735 году К. Линней поместил человека в один отряд с обезьянами. Оба ученых имели в виду только общность строения. Ч. Дарвин в своем труде «Происхождение человека и половой отбор», опубликованном в 1872 году, сформулировал гипотезу о происхождении людей от обезьяноподобных предков и поставил вопрос об общем предке современных обезьян и человека.

§ 55. Попытки доказательств происхождения человека от животных

Многим поколениям школьников из года в год рассказывалось о том, что труд сделал из обезьяноподобных существ человека. Надолго запоминаются и палка-копалка, и острые камешки как первые орудия труда, и первые проблески у обезьяноподобных предков человека необычной для животных сообразительности. Написано много захватывающих книг об этой «заре человечества». Правдоподобными кажутся рассказы о том, как в первых сообществах этих еще недочеловеков, но уже не обезьян, возникла необходимость общения, приведшая к появлению условных гортанных звуков; как они в борьбе за существование образовывали первые семьи с примитивным разделением труда: папа ходил на охоту, мама готовила пищу и ухаживала за детьми. Но в этой идиллии не хватало главного — доказательств самого факта эволюции животного в человека.

Несмотря на широкую известность, которую к концу XIX в. получили эти представления, многие авторитетнейшие ученые гипотезу не приняли. Р. Вирхов, Л. Агасис, К. Бэр, Р. Оуэн, Г. Мендель, Л. Пастер указывали, что гипотеза ложна и противоречит фактическим данным.

Какие же аргументы для доказательства нашего происхождения от животных приводятся эволюционистами?

1. Общие для человека и обезьян признаки: пальцевые кожные узоры, хорошо развитая ключица, 48 или 46 хромосом, резус-фактор, группы крови (заметим, что гены, отвечающие за группы крови, есть не только у людей и обезьян, — они широко распространены во всем животном царстве), аминокислотные последовательности миоглобина и различных цепей гемоглобина.

2. Общие признаки у плацентарных млекопитающих: местонахождение сердца и теплокровность, две пары конечностей, молочные железы, дифференциация зубов на резцы, клыки и коренные, нервная трубка у зародыша и его развитие в чреве матери (наличие шести пар жаберных дуг у эмбриона, как мы выяснили в § 46, было сфабриковано Э. Геккелем).

3. Атавизмы. Подобные отклонения от нормы, как нам известно из § 45, являются эмбриональными нарушениями и не обусловлены животным прошлым.

Сходство человека с животными не доказывает эволюционного родства. Аналогии строения организмов не менее убедительно свидетельствуют о единстве плана сотворения.

В чем же эволюционисты видят отличие человека от обезьян? В прямохождении, труде и изготовлении орудий, членораздельной речи и других социальных факторах. Особое внимание уделяется анатомическим различиям. Это S-образный позвоночный столб и особенности черепа: у человека нижняя челюсть укорочена, подковообразна (у обезьян заклыковые линии зубов параллельны). У человека больший объем мозга — в среднем 1450 $см^3$, а у обезьян всего 300—550 $см^3$. У людей небольшие, невыдающиеся клыки, более развитый вестибулярный аппарат.

Имеются и другие анатомические отличия, такие как пропорции конечностей и амплитуда движений в плечевом суставе, развитый большой палец человеческой руки. У человека есть суставной замок, позволяющий распрямлять ноги и делать длинные шаги, а у обезьян — нет. У обезьяны развит большой палец стопы, которая у обезьян хватательного типа, а у человека фаланги пальцев ног не приспособлены к захвату ветвей.

В чем же главное различие, где разделяющая черта между человеком и животным? Современные ученые не дают ответа на этот вопрос, в антропологии даже отсутствует определение человека. Несомненно, главное отличие человека от животных следует искать в его духовности — том даре, который сообщил нам Творец при создании первого человека Адама, вдохнув «дыхание жизни» (Быт. 2,7), сделавшее его свободным, разумным и бессмертным, по образу и подобию Божию.

Дарвин, чувствуя массу недостатков в своем труде «Происхождение человека и половой отбор», где основными факторами появления человека указывались борьба за выживание, естественный и половой отбор, более 20 лет не решался публиковать свою идею и признавался в одном из писем: «Будущая книга весьма разочарует Вас — уж очень она гипотетична. Я уверен, что в этой книге вряд ли найдется хоть один пункт, к которому невозможно подобрать факты, приводящие к прямо противоположным выводам». Труд Дарвина «Происхождение видов»

впервые вышел в свет в 1859 г., а на издание еще более смелой книги о происхождении человека автор решился только спустя тринадцать лет.

До середины XIX в. люди были уверены, что в мире, однажды сотворенном Богом, все живые существа и человек в том числе живут без больших изменений в их строении, но ученых все больше увлекала мысль о возможности случайного возникновения жизни, развитии одного вида животных от другого в процессе эволюции, а человека — от обезьяны. Далее мы рассмотрим ископаемые останки и проверим обоснованность этой гипотезы.



1. Почему многие современники Дарвина не приняли его гипотезу? По какой причине сам Дарвин долго не решался на опубликование своих трудов?
2. Назовите признаки сходства между животными и человеком. О чем может свидетельствовать это сходство?
3. Каковы отличия человека от животных?
4. В чем главное отличие человека от животных?

§ 56. Ископаемые останки: сенсации и реальность

В конце XIX столетия были приложены большие усилия для отыскания ископаемого недостающего звена — переходной формы между обезьянами и человеком.

Питекантроп (<греч. pithekos обезьяна + anthropos человек), или **яванский человек**. Голландский врач-анатом Эжен Дюбуа, вдохновившись новой гипотезой, оставил институтскую кафедру, благоустроенную жизнь и отправился на остров Ява искать останки обезьяноподобного предка. В 1891 г. он обнаружил множество окаменелостей различных животных и среди них человеческую бедренную кость и черепную крышку, не похожую на современную человеческую. Дюбуа поспешил заявить общественности о находке обезьяноподобного предка.

Указывая на толщину черепной крышки, Дюбуа настаивал на ее сходстве с черепной крышкой гиббона. Однако на бедренной кости были обнаружены признаки тяжелого костного заболевания в запущенной форме — такой больной нуждался в постоянном уходе и дожить до своих преклонных лет мог лишь среди заботливых людей.



Находка Э. Дюбуа

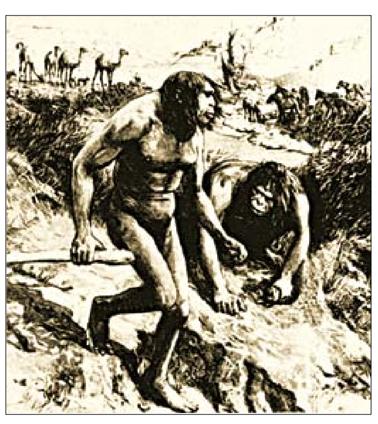
В середине XX в. были обнаружены более полные останки первобытных людей, и стало понятно, что питекантроп был не обезьяноподобным, как предполагал Дюбуа, а вполне развитым прямоходящим человеком Homo erectus. Черепные кости этих людей были в 2—3 раза толще наших (до 15—20 мм).

Эоантроп (<греч. eos утренняя звезда, рассвет), или **пилтдаунский человек**. В 1912 г. в Великобритании неподалеку от поселка Пилтдаун археолог Доусон обнаружил окаменевший человеческий череп и челюсть — похожую на челюсть современных орангутанов, но с более плоской поверхностью зубов, как у человека. Трудно было понять, принадлежали ли череп и челюсть одному существу, но цветом и фактурой они были похожи.

На заседании геологического общества находка была названа «эоантропом Доусона», ее поместили в особый отдел Британского музея. Исследователям выдавались только копии, по которым многочисленные специалисты строили гипотезы о том, как именно происходило превращение обезьяны в человека и почему сперва развился мозг, а потом уже все остальное. О пилтдаунском человеке были написаны сотни научных работ.

Только в 1953 г. кости удалось извлечь из хранилища и подвергнуть химическому анализу. Результат был шокирующим: привычный уже миру эоантроп оказался подделкой. Череп действительно был древним, челюсть же — почти современной, не вполне даже окаменевшей челюстью орангутана, подкрашенной специальным химическим веществом: наличие определенных радиоактивных элементов выдавало ее явно не британское происхождение. Для сходства зубов обезьяны с человеческими их просто подпилили.

До сих пор не удалось выяснить, что это было — сознательный обман или затянувшаяся шутка. Никто из отечественных антропологов так и не признал эоантропа.



Гесперопитек (<греч. hesperos сын Атланта), или **небрасский человек**. В 1922 г. в отложениях русла ручья в штате Небраска археологи обнаружили окаменелый зуб. Его форма оказалась такой, что он не мог принадлежать ни человеку, ни обезьяне. Учеными был сделан поспешный вывод: это зуб обезьяночеловека. Известие о находке опубликовали сразу в трех крупнейших научных жур-налах и тут же напечатали «воссозданное» изображение предка.

Пять лет спустя удалось найти полный скелет существа с таким зубом: им оказалась дикая свинья.

В предполагаемом процессе антропогенеза (становления человека) эволюционисты выделяют четыре стадии:

1. *Древесные обезьяны* (дриопитеки — <греч. dris дерево) — рамапитеки (предполагаемый возраст: 15—5 млн. лет)

2. *Первые гоминиды* (<лат. hominis человек + греч. idos подобие) — австралопитеки (от 5 млн до 750 тыс. лет).

3. *Древнейшие люди* — архантропы (<греч. archaios древний): человек умелый и человек распрямленный (2,5 млн— 140 тыс. лет).

4. *Древние люди* — гейдельбергский человек, неандертальцы (400—30 тыс. лет).

5. *Первые современные люди* — кроманьонцы (100 тыс. лет).

В следующих параграфах мы рассмотрим современные данные об этих предполагаемых стадиях развития и то, насколько убедительно они свидетельствуют об эволюции человека.



1. Что вы знаете о находке Э. Дюбуа?
2. Расскажите об истории с эоантропом.
3. Какие фрагменты скелета гесперопитека обнаружили ученые? Что показали дальнейшие исследования?
4. Назовите основные этапы предполагаемого антропогенеза.

§ 57. Дриопитеки и первые гомининды

Рамапитек (Рама — индийский бог). В 1934 г. в раскопках близ Дели были обнаружены зубы и фрагменты челюсти. По этим останкам «восстановили» внешний вид скрюченного обезьяноподобного существа — рамапитека. Линии заклыковых зубов обезьяны практически параллельны, а у человека они образуют подковообразную дугу. С некоторыми натяжками можно было считать линию зубов рамапитека подковообразной, а значит, его самого — эволюционно развитой формой. Рамапитекам приписывали прямохождение и предметно-орудийную деятельность.

В 1970-е годы были обнаружены более полные останки челюсти рамапитека, которая почти не отличалась от челюсти современного орангутана. Ученые постепенно отказались от рамапитековой гипотезы, вместо нее утвердилась гипотеза австралопитековая.



Челюсть человека и обезьяны

Австралопитек, или южная обезьяна (<лат. australis южный). Большое количество этих ископаемых существ было обнаружено в 1920-е годы в Южной Африке, а потом и в других местах. Большинство находок носило фрагментарный характер, лишь в 1974 г. экспедицией Джохансона в Эфиопии был найден хорошо сохранившийся (около 40 % костей) скелет австралопитека, названного Люси; фрагменты левой половины восстановили по правой, а фрагменты правой — по левой половине.

Из останков ребер Люси сначала складывали грудную клетку по подобию бочкообразной человеческой, но недавние исследования показали, что она имела колоколообразную обезьянью форму.

Строение тазовых костей Люси более пригодно для прямохождения, чем у других обезьян, но ее походка была неуклюжей. Анализ останков показал также, что колено австралопитеков не имело суставного замка, а значит, передвигаться они могли только мелкими шажками на согнутых ногах.

Любопытно строение стопы: пятка более сходна с человеческой, нежели пятка современных обезьян, стопа имела свод (у современных обезьян плоскостопие), а способность к отведению большого пальца меньшая, чем у шимпанзе, но существенно большая, чем у человека. Хотя соотношение длины передних и задних конечностей несколько меньше, чем у современных обезьян, изогнутость фаланг пальцев для удобства захвата ветвей соответствует древесному образу жизни. Об интенсивной «акробатической жизни» свидетельствуют и особенности грудных позвонков. По причине адаптации австралопитеков к древолазанию целый ряд антропологов не считают их предками человека.



Скелет Люси

По некоторым признакам австралопитеки походили на азиатских обезьян, другие особенности сближают их с крупными обезьянами Африки. Австралопитеки имели рост 110—130 см, вес 30—45 кг, объем мозга 300—450 см^3. Изучив полость черепа, которая повторяет конфигурацию мозга, антропологи заключили, что их мозг не имел существенного отличия от мозга обезьян. Примитивное строение черепа не позволяет предположить у австралопитеков наличие членораздельной речи.

Наиболее прогрессивной чертой австралопитеков считается смещенное ближе к основанию черепа положение затылочного отверстия (место сочленения с позвоночни-

ком). У человека оно расположено в основании черепа, у современных обезьян — несколько выше, чем у австралопитеков.

Положение затылочного отверстия и строение тазовых костей приводятся как основные доказательства прямохождения австралопитеков. Предполагается, что они первыми из наших предков перешли к жизни в саванне, а прямоходящими стали, чтобы освободить руки для охоты и обороны на открытой местности, среди высокой травы. Прямохождение уменьшает риск перегрева в жаркой саванне.

Гипотезе прямохождения противоречат данные компьютерного сканирования (томографии) черепов. Внутреннее ухо человека — точнейший механизм вестибуляции в виде сложного лабиринта, заполненного жидкостью, позволяющий свободно передвигаться на двух ногах, а у австралопитеков внутреннее ухо устроено так же примитивно, как у современных обезьян, — следовательно, и передвигаться они могли исключительно по-обезьяньи!

Некоторым останкам сопутствовали каменные орудия. Была выдвинута гипотеза, что австралопитеки занимались предметно-орудийной деятельностью. Позже выяснилось, что они не были изготовителями этих орудий. Не доказана фактическими данными и гипотеза о том, что австралопитеки для защиты и охоты обрабатывали кости и рога, использовали для этого огонь (остео-одонто-кератическая культура). Любопытно, что изготовлять каменные отщепы (сколы с острым краем) способны и современные обезьяны — правда, по подсказке; умеют они и хранить предметы для повторного использования. Однако случаи простейшей обработки камней еще не свидетельствуют о жизненно важной «человеческой» стратегии поведения.

Австралопитеков называют первыми гоминидами, подчеркивая этим, что с них началась ветвь *гоминизации* — эволюционного преобразования животного в человека. Из всех ископаемых обезьян австралопитеки имели наибольшее количество признаков, работающих на гипотезу прямохождения. Эти признаки позволяют предположить, что австралопитеки в процессе гипотетической эволюции могли бы стать близкой к человеку формой, но такие формы не обнаружены.



Австралопитек Люси, реконструкция М.Л.Бутовской

Многие современные антропологи не считают австралопитеков прогрессивной ступенью эволюции, направленной к хождению на двух ногах, или входящими в группу, более близкую к человеку, чем к обезьянам.



1. Почему рамапитеков стали считать нашими предками?
2. Какие признаки австралопитеков сходны с человеческими?
3. Какая особенность черепа австралопитеков не позволяет предположить, что эти обезьяны были прямоходящими?

§ 58. Древнейшие люди

Homo habilis (человек умелый) считается эволюционистами переходным звеном от австралопитеков к человеку. Первые находки были сделаны М. и Л. Лики в 1960 г. в Олдувайском ущелье.

Отличительным признаком хабилисов считается больший в сравнении с австралопитеками мозг (500—650 см^3, у шимпанзе — до 550 см^3), значительное развитие лобных и теменных долей, различимость так называемых центров речи. Но, как показали недавние исследования, связанные с речью участки мозга не столь точно локализованы, как считалось ранее, а строение черепа хабилисов исключает возможность значимой звуковой коммуникации: набор их звуков был не богаче, чем у шимпанзе.

По мнению большинства антропологов, кроме черепа, останки этих существ практически неотличимы от останков австралопитеков. Небольшие различия имеются в пропорциях зубов, однако их размер очень велик, заклыковые линии зубов практически параллельны. Авторитетные антропологи А. А. Зубов, Дж. Моджи-Чекки указывают, что по величине зубов и структуре зубной системы хабилисы очень близки к австралопитекам. В строении скелета очевидна адаптация к древесной жизни.

Многие антропологи с самого начала не считали хабилисов родом, отличным от австралопитеков; некоторое признание Homo habilis получили лишь к концу 1970-х гг., а сегодня споры о реальности этого таксона разгорелись с новой силой. Интерес вызвало сравнение австралопитека Люси с одним из классических хабилисов (ОН 62). Это существо жило, как считается, на 2 млн лет позже Люси и по своему строению должно было быть значительно ближе к человеку. А это вовсе не так: у ОН 62 маленький рост, длинные мощные руки, ноги приспособлены к древолазанию. Его отличает от Люси несколько больший объем мозга.

Свое название хабилисы получили по причине того, что в одних с ними слоях найдены примитивные каменные орудия олдувайской культуры. Но этот критерий не абсолютный: в

течение 5 лет одни и те же каменные инструменты то приписывали австралопитекам, то переадресовывали хабилисам, то человеку, ведь они обнаружены практически в одних и тех же слоях. Найденные фрагменты кисти Homo habilis не доказывают способности к изготовлению инструментов.

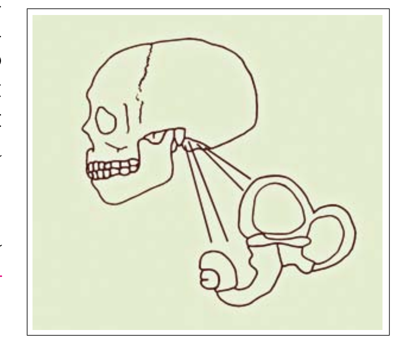
Специалисты указывают, что многие останки относили к хабилисам, ориентируясь лишь на последовательность геологических слоев. Ведь считается, что австралопитеков сменили хабилисы, которые затем «стали» людьми. Некоторые из таких останков имеют вполне человеческое строение с объемом мозга 700—800 см^3; споры об этих находках не прекращаются и по сей день. Компьютерное сканирование показало, что вестибулярный аппарат таких условно отнесенных к хабилисам черепов был не промежуточного строения, а идентичен нашему. А вот вестибулярный аппарат классических хабилисов оказался даже примитивнее, чем у австралопитеков и современных человекообразных обезьян. Значит, они не могли успешно ходить на двух ногах.

Для включения хабилисов в род Homo они должны четко отличаться от других родов морфологически, иметь свою адаптивную стратегию (например, охотиться с применением каменных орудий) и быть ближе к современному человеку как типовому представителю рода Homo, чем к представителям других родов. По указанным критериям хабилисы значительно ближе к австралопитекам, нежели к современному человеку, и не могут входить в род Homo.

По мнению целого ряда авторитетных антропологов (например, Б. Вуда, М. Колларда), *хабилисы должны быть исключены из рода Homo и помещены в род австралопитеков.*

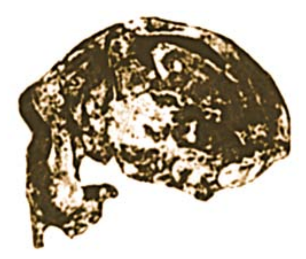
Homo erectus (человек распрямленный, или **прямоходящий),** иногда из него выделяют вид **Homo ergaster (человек работающий).** Останки эректусов практически одновременно появляются в Африке и Азии, несколько позже в Китае (синантропы — <лат. Sina Китай), Индонезии (питекантропы) и Европе.

Рентгеновский анализ черепов эректусов показал, что их вестибулярный аппарат был таким же развитым, как у современных людей, а значит, они прекрасно ходили на двух ногах. Эректусы обладали полностью человеческим скелетом включая структуру таза и грудной клетки, имели осанку, близкую к современной, рост 160—170 см и выше. Их тонкие бедра



Полукружные каналы внутреннего уха человека





***Homo erectus* (Сангиран 17, 1969 г.), реконструкция М.Л.Бутовской (губы увеличены в предположении обезьяноподобия)**

были хорошо приспособлены к вертикальному передвижению с наименьшими усилиями, они были умелыми ходоками и бегунами. Объем освоенного пространства эректусов в 8—10 раз превышал этот показатель у хабилисов. Эректусы владели огнем, использовали его для изготовления довольно сложных каменных орудий ашельской культуры, иногда их так и называют — «ашельцы».

Ученые склоняются к тому, что Homo erectus — полноценные люди вымерших племен, с некоторыми особенностями скелетов. Они отличаются от нас большей толщиной черепных костей с сильно выраженным рельефом в области прикрепления мышц, массивностью зубочелюстной системы, отсутствием подбородочного выступа, большими надбровными дугами, килевидной формой крышки черепа. Близкое к центральному положение затылочного отверстия и значительный объем мозга сближают эректусов с современным человеком. По данным антрополога М. Вольпова, эректусы из Китая и Индонезии сходны с азиатами и аборигенами австралии. Ряд антропологов полагают, что эректусы должны быть включены в вид Homo Sapiens.

По всей видимости, эректусы обладали членораздельной речью: соответствующие признаки черепа у них несравненно более выражены, чем у хабилисов, и близки к нашим. По свидетельству антропологов, крупные зубы, тяжелые надбровные дуги, значительный рельеф в области крепления мышц формируются при питании грубой пищей и не имеют отношения к происхождению от обезьяноподобного предка. Объем мозга Homo erectus (800—1200 см^3) меньше нашего среднего (1450 см^3), но как минимум вдвое больше обезьяньего. У большинства европейских народов можно найти отклонения от средней величины на 400 см^3 в обе стороны. Заметное число людей имеют объем мозга всего 700—800 см^3 при нормальном развитии.

Не доказывает промежуточного положения эректусов и хронология окаменелостей: найдены останки Homo erectus, отно-

сящиеся к одному времени с останками австралопитека, Homo habilis и Homo sapiens, все эти виды оказались современниками. Это было для ученых полной неожиданностью, ведь долгое время в науке считалось, что Homo habilis, Homo erectus и Homo sapiens составляют эволюционную последовательность.

Орудия труда Homo erectus (ашельская культура) разительно отличаются от тех камней, которыми, как предполагается, пользовались древние обезьяноподобные существа (олдувайская галечная культура). Для того чтобы изготовить олдувайский инструмент, особых навыков не нужно: достаточно расколоть речную гальку. В изготовлении ашельского орудия требуется много знаний, сложное объемное мышление, накопление опыта и умение передавать его потомкам. Создатели многих из этих инструментов, по мнению археологов, «блещут высочайшим талантом».

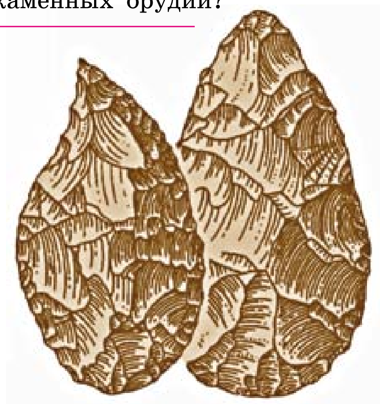
Среди множества орудий олдувайской и ашельской культур нет промежуточных; наблюдается резкий качественный скачок, различающий животное, случайным образом раскалывающее гальку на берегу реки, и серьезного мастера, работу которого с трудом могут повторить современные умельцы. Какой-либо эволюции от «олдувая» к «ашелю» не прослеживается, а значит, не было и промежуточных существ.

Ашельская материальная культура, создававшаяся самыми первыми людьми, удивила ученых наличием культовых орудий, свидетельствующих о присутствии у этих первых разумных существ на планете человеческих форм сознания.



1. По каким признакам ученые различают хабилисов и австралопитеков? Считают ли они эти критерии абсолютно надежными?
2. Какие характеристики скелета эректусов позволяют причислить их к полноценным людям?
3. Каков объем мозга у современных людей? Можно ли по этому признаку считать эректусов недоразвитыми?
4. Что показали исследования каменных орудий?







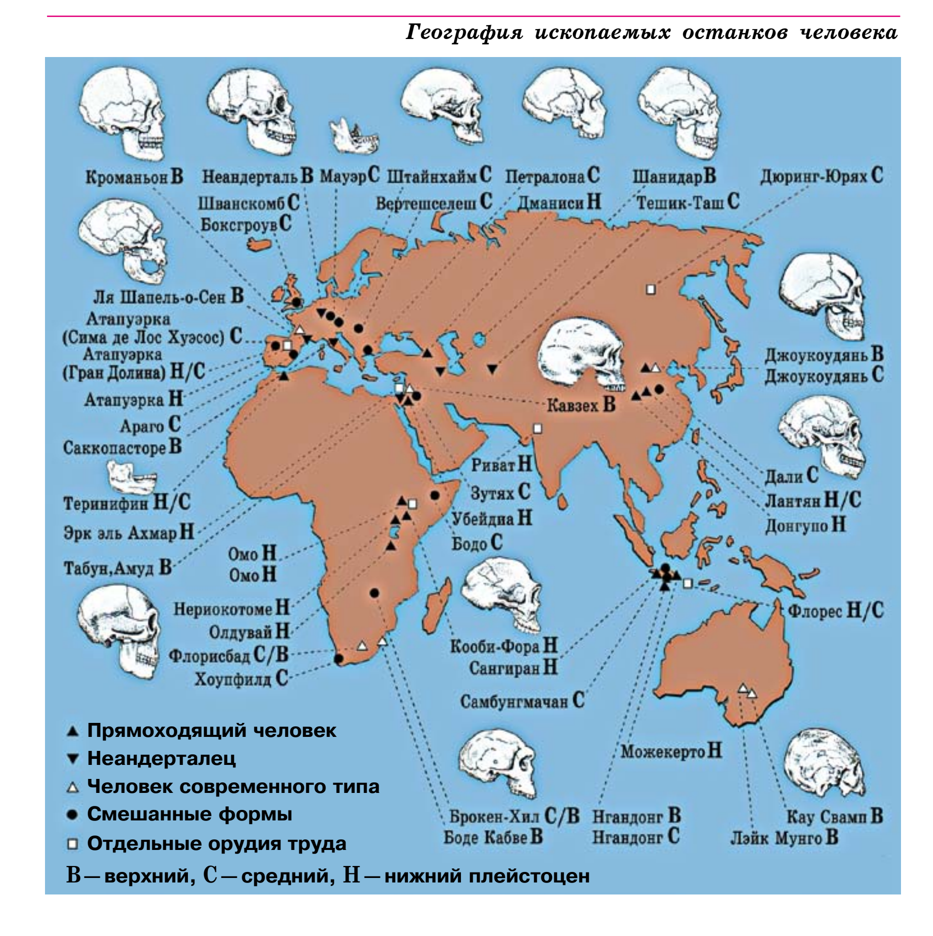
Образцы олдувайской и ашельской культуры

§ 59. Древние люди

Гейдельбергский человек, или **Homo heidelbergensis.** В 1907 г. в Германии, близ города Гейдельберг, в песчаном карьере обнаружили массивную нижнюю челюсть, зубная система которой была более сходна с современной, чем у эректусов. Находке присвоили название Homo heidelbergensis.

Долгие годы челюсть оставалась единственной в своем роде, только к концу XX в. ученые утвердились во мнении, что к этому же роду следует отнести многие другие находки (в т. ч. человека с реки Соло и родезийского человека), отличительной чертой которых является сочетание признаков Homo erectus (большой надбровный валик и толстые черепные кости) и Homo sapiens (современный объем мозга, округлый затылок, различимый подбородочный выступ). Лицевой отдел черепа близок к современному, в некоторых случаях (Атапуэрка, 1995) практически не отличим

География ископаемых останков человека





Гейдельбергский человек (Штайхайм, 1933 г.), реконструкция М.М.Герасимова



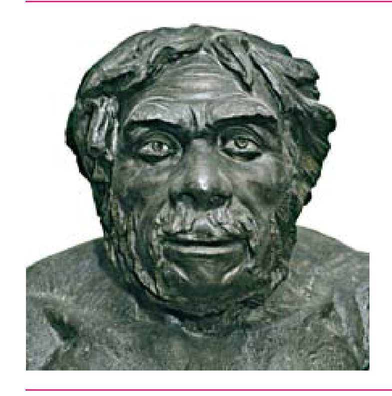
от нашего. Гейдельбергский человек был широко распространен в Европе и Азии, имеются находки в Индии и Китае. Он считается предком неандертальца и человека современного типа кроманьонца (от названия грота Cro-Magnon в долине р. Везер во Франции, где в 1868 г. были обнаружены первые останки), иногда его называют пресапиенсом, или архаичным сапиенсом.

Массивный череп представителей этого рода вполне соответствовал образу жизни охотников, требовавшему большой физической силы. В их орудиях присутствуют элементы художественного творчества: мастер дополнительно тратил время, чтобы придать изделию совершенную симметрию, красивые пропорции, изящную форму. Обнаружены костяные пластинки с календарно-астрономическими знаковыми текстами, нередки случаи ритуального погребения. По мнению антропологов, речь у гейдельбергского человека была развита лучше, чем у неандертальца.

Неандерталец, или **Homo neanderthalensis**. Первые останки были обнаружены близ Дюссельдорфа (Германия) в долине Неандер в 1856 г., который считается годом рождения палеоантропологии.

Строение черепа неандертальцев дальше от современного, чем у гейдельбергского человека, по сравнению с которым у неандертальцев более покатый лоб, более длинная черепная крышка, значительно сильнее выдается затылок, более крупная лицевая часть. Особенности строения мозга указывают на праворукость неандертальцев, а объем мозга удивил исследователей своей величиной — около 1650 см^3. С позиций гипотезы эволюции затруднительно объяснить, почему жившие раньше нас люди имели значительно больший объем мозга.

Мощность зубочелюстной системы неандертальцев — адаптация к грубой пище (зубы, как правило, сильно истерты). Замечено, что по мере усовершенствования технологии приготовления пищи у разных народов и племен приближались к «цивилизованному» размеры зубов, надбровных дуг и общие очертания лица. По мнению антропологов, физический тип





Неандерталец (Ля Шапель-о-Сен, 1908 г.), реконструкция М.М.Герасимова

неандертальцев заключает в себе признаки не обезьяноподобия, а приспособленности к суровым условиям приледниковой зоны. Они были широкоплечими и малорослыми (рост мужчин — около 160 см), что сокращало поверхность тела и теплопотери. Предплечья и голени, которые всегда в движении и имеют повышенную теплоотдачу, у неандертальцев укорочены. Развитие мускулатуры и скелета объясняется необходимостью выдерживать значительные силовые нагрузки.

Все эти признаки в смягченном виде встречаются и у современных людей. Американская антропологическая ассоциация признала, что неандертальцы походили на обезьян не более многих современных северных народов. Антропологи указывают, что с достижением преклонного возраста у людей развиваются «неандертальские» черты: тяжелые надбровные дуги, удлиненный свод черепа и т.д. По мнению антрополога Е. Н. Хрисанфовой, неандертальский комплекс ограничен лишь обменно-гормональными особенностями.

Homo neandertalensis имели практически современную человеческую осанку. В среднем затылочное отверстие у неандертальцев смещено назад несколько больше, чем у эректусов, а у некоторых из них (Саккопасторе 1) расположено в центре основания черепа, как и у нас. Обезьяноподобие неандертальцев в ряде реконструкций, как теперь выяснилось, сильно преувеличено.

Неандертальцы жили в пещерах вблизи громадной ледовой шапки, покрывавшей Землю, из-за хронической нехватки витамина D часто переносили заболевания рахитом и артритом, приводившие к характерным изменениям скелета. Как пишет антрополог А. А. Зубов, многочисленные находки скелетов тяжело больных и увечных неандертальцев свидетельствуют о том, что эти племена «заботились о слабых и больных сотоварищах, по возможности продлевая им жизнь». Неандертальцы имели лунный календарь, хоронили умерших, клали в могилы цветы. Обнаруженные у неандертальцев формы религиозного сознания

и культовые орудия четко отделяют их от животного мира.

Согласно данным современных исследований, неандертальцы не уступали современному человеку по всем двигательным, интеллектуальным и речевым способностям. Высокий уровень развития, ряд фактов, свидетельствующих об их сосуществовании с кроманьонцами, находки смешанных форм привели антропологов к необходимости включить их в вид Homo sapiens в качестве подвида Homo sapiens neanderthalensis.

Все больше ученых приходит к выводу, что первобытные люди были вполне разумными и отличались от обезьян не меньше нас с вами, а их примитивный образ жизни свидетельствует, похоже, лишь об отсутствии материально-технической базы. Любой из нас выглядел бы в условиях древней планеты ничуть не современнее. Материальный недостаток и суровые условия быта успешно преодолевались древними людьми. Специалисты по неолиту (новому каменному веку) указывают на следующий удивительный факт: обнаружено несколько ископаемых скелетов первобытного человека со следами удачно сделанной черепно-мозговой операции, после которой пациенты благополучно жили еще многие годы. Даже с использованием современного медицинского оборудования нейрохирургам далеко не всегда удается добиться положительных результатов. Представьте себе, каким искусством должен был обладать врач, чтобы каменными (обсидиановыми) инструментами провести трепанацию черепа!

Анализ ДНК неандертальцев показал, что современное человечество более близко к кроманьонцам; их и считают нашими непосредственными предками. Однако последние исследования выявили, что со временем в ДНК костей первобытного человека появляются мутации (замены, делеции, вставки нуклеотидов), которые ошибочно считались характерными отличиями неандертальцев. Это означает, что неандертальцы, возможно, имели тот же состав ДНК, что и мы.

«Y-хромосомный Адам» и «митохондриальная Ева». Наряду с антропологическими и археологическими используются и другие методы исследования вопроса о происхождении человечества.

Так, генетики исследовали строение Y-хромосомы (наследуется по мужской линии) у мужчин, живущих в разных точках планеты. Его результаты показали, что у всех людей был всего один общий предок по мужской линии. При изучении ДНК митохондрий (мтхДНК, наследуется с цитоплазмой по женской линии) выяснилось, что все мы произошли от одной женщины. Генетики назвали «открытых» ими предков Адамом и Евой: к тому склонил сам факт их единственности, неожиданный для многих ученых. Примерная давность существования Адама и Евы по разным расчетам — от 6 до 500 тыс. лет, наиболее общепризнанный срок — от 150 до 180 тыс. лет.

В заключение обратим внимание на то, что к движущим силам антропогенеза эволюционисты относят одновременно две группы факторов: первая группа — социальные факторы (общественный образ жизни, общий труд и охота, забота о потомстве, воспитание детей, забота о больных и стариках), вторая группа — борьба за существование и естественный отбор. Эти группы факторов исключают одна другую, поскольку для образования новых форм один из факторов должен быть определяющим. Если главенствует звериная внутривидовая борьба, то взаимопомощь не осуществляется, и наоборот. К тому же действие естественного отбора нарушается половым отбором (особи могут соперничать за спаривание с особью другого пола, например не здоровьем, а красотой, и победитель оставляет потомство). Двойственность позиции эволюционистов показывает ее несостоятельность.

Мы рассмотрели лишь самые простые аспекты гипотезы происхождения человека от обезьяны. Современным исследователям, углубившимся в тайны высшей нервной деятельности, строения и функционирования мозга, вполне очевидна ложность идеи поэтапного превращения животного в человека. Отношение директора Института мозга академика Н. П. Бехтеревой к эволюции весьма определенное: «Эволюцию я как-то не вижу, не могу себе ее представить... Возникновение такого чуда как человеческий мозг невозможно без Творца».

Научившись на ошибках прошлого, уже практически никто из ученых не пытается так запросто доказать происхождение людей от обезьян, как это делалось в XIX столетии или даже в 70-х годах прошлого века. История появления человека признается, по меньшей мере, очень сложной и запутанной. Антрополог и эволюционист Р. Левонтин пишет: «Вопреки волнующим и оптимистическим утверждениям некоторых палеонтологов, никакие ископаемые виды гоминид не могут считаться нашими предками».

Авторитетный антрополог М. М. Герасимова отмечает, что происхождение человека от животных никогда уже не будет строго доказано, поскольку для этого «необходимо видеть как останки животных постепенно и массово сменяются останками все более близких к человеку форм», но это нигде не наблюдается.

Совершенно правомерно заключить, что обезьяны всегда были обезьянами, а люди — людьми! Человек не произошел от животного. Исследования показывают, что он появился на Земле сразу в своем человеческом виде. В этом очевидном тупике многие археологи, антропологи, биологи и другие ученые стали задумываться о правильности богословского толкования происхождения человека. Авторитетный современный археолог, специалист по палеолиту (каменному веку) П. В. Волков пишет: «Мы все более отчетливо видим уникальность человека; мы находим все больше свидетельств внезапности его появления в

мире; мы все более уверены в том, что наши самые далекие предки близки нам и похожи на нас и что начало нашей истории творилось не по воле случая».



1. Чем ученые объясняют особенности скелета неандертальцев?
2. Можно ли совместить религиозность первобытных людей с их мнимым обезьяноподобием?
3. Опишите находки, показывающие высокий уровень интеллекта первобытных людей.
4. Почему для изучения изменений в генах по женской линии изучают ДНК митохондрий, а по мужской — Y-хромосомы?
5. Какие факторы относят в эволюционной теории к движущим силам антропогенеза? В чем здесь противоречие?

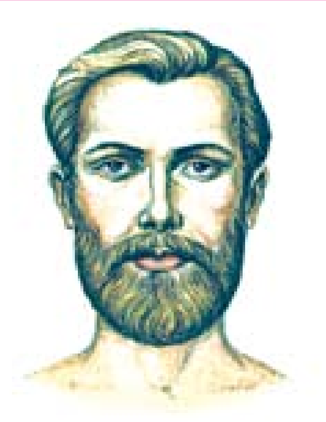
§ 60. Человеческие расы

Основные расы. *Расами* (<франц. race порода, сорт) *называют большие группы людей, отличающиеся так называемыми расовыми особенностями — некоторыми морфо-физиологическими и психологическими признаками, в частности чертами лица, цветом кожи, формой и цветом глаз и волос, особенностями темперамента.* Происхождение рас, взаимоотношения между ними, их характерные признаки изучает *расоведение*. На планете три основные (или большие) расы: европеоидная, монголоидная и негроидная.

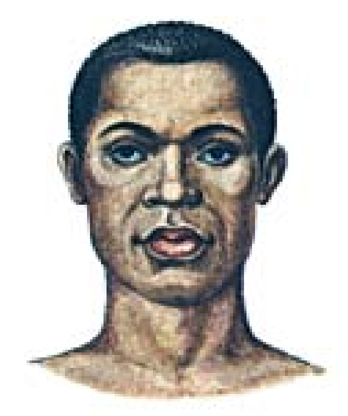
Европеоиды имеют прямые или волнистые, часто светлые волосы и светлую кожу. У мужчин интенсивно растет борода. Лицо европеоидов — узкое, с выступающим нешироким носом (профилированное), челюстная часть не выделяется. Глаза серые, голубые, реже карие. Линия глаз расположена горизонтально, губы тонкие. Основное место расселения расы в Европе, но ее представители населяют все материки, так большая часть населения США, Канады, Австралии ныне — европеоидной расы.

Монголоиды обычно имеют прямые жесткие темные волосы, более темную кожу с желтоватым оттенком. Лицо широкое, уплощенное, слабо профилированное, скулы сильно выступают. Борода растет слабее, чем у европеоидов. Характерны узкие черные или карие глаза с приподнятыми внешними углами (раскосость). Веки у типичных монголоидов прикрыты кожной складкой — эпикантусом (<греч epi над + kanthos внутренний угол глаза). Губы средней толщины. Монголоиды преобладают в Азии.

Негроиды — темнокожие люди с карими глазами и курчавыми черными волосами. Борода растет слабее, чем у европеоидов. Лоб узкий и низкий, нос широкий, губы толстые, глаза широко



Северный русский



Африканец



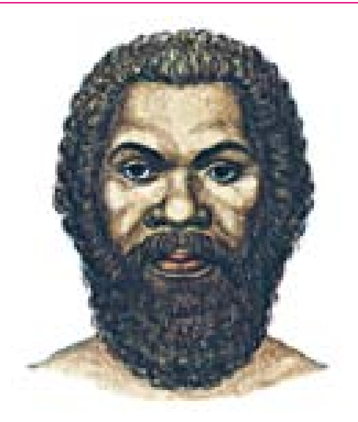
Китаец

открытые. Челюстная часть лица выделяется. Негроиды расселены по экваториальному поясу, в том числе в Америке.

В три главные расы несколько не вписываются американские индейцы и жители Австралии. *Американских индейцев* традиционно относят к монголоидам, но они, подобно европеоидам, часто имеют выступающий орлиный нос (профилированное лицо), и форма глаз отличается от монголоидной. У *аборигенов Австралии*, относимых к негроидам, волосы не курчавые, как у классических африканских негроидов, а волнистые, борода растет так же интенсивно, как у европеоидов. Смешанной расой можно считать и многочисленные семито-хамитские народы (арабов и др.), сочетающие признаки европеоидной и негроидной рас.

Внутри рас наблюдается деление на группы: буряты отличаются от вьетнамцев, славяне — от представителей германских народов и т.д. Антропологи различают несколько десятков человеческих рас, многие из которых являются контактными группами соседствующих рас. Так, на территории бывшего СССР около 50 млн человек относятся к смешанному европеоидно-монголоидному типу.

Происхождение рас. В науке не существует единого представления о происхождении рас. Имеются гипотезы о том, что первые люди появились в Центральной Азии, Восточной Африке, других местах. По данным археологии, первые цивилизации возникли в Междуречье, долинах Иордана и Нила и оттуда




Австралиец



Американский индеец

люди расселились по свету (это в целом совпадает с библейским преданием). Согласно тексту Священного Писания, все человечество — потомки сыновей Ноя: Сима, Иафета и Хама. Считается, что потомки Сима (семиты) образовали древние народы Малой Азии. Иафетиты расселились из Междуречья на запад и север в Европу и Азию, образуя отдельные народы и группы народов (хетты, греки, римляне; славянская, германская, романская и другие семьи народов). Хамиты населили Африку, большую часть Азии, Америку и Австралию, разделившись на народы негроидной и монголоидной рас.

Расовые признаки в зачаточной форме антропологами обнаружены у кроманьонского человека. По-видимому, эти наши далекие предки имели высокую степень полиморфизма по генам, определяющим расовые признаки. В зависимости от природно-климатических условий и случайных изменений в генофонде расселяющихся по планете людей закреплялись расовые признаки. Так, кожная складка, прикрывающая веко монголоидов, защищает глаза от пыльных ветров и переохлаждения в условиях холодных субконтинентальных зим. Курчавые волосы негроидов образуют на голове теплоизолирующий слой, а черная кожа защищает от тропического солнца. Кожа негров в 10 раз более устойчива к облучению ультрафиолетом. А в северных широтах темная кожа препятствует организму успешно вырабатывать противорахитный витамин D.

Светлая кожа европеоидов, их светлые глаза, светлые и прямые волосы — признаки, рецессивные по отношению к темной коже, темным глазам, темным и курчавым волосам. Вероятно, эти признаки появились вследствие заселения Европы малыми группами людей (не более 1—1,5 тыс.). В результате близкородственных браков возникли и закрепились рецессивные гомозиготы. Эту гипотезу выдвинул Н. И. Вавилов,

обнаруживший сходные признаки у кафиров горного Афганистана. В данном случае дрейф генов, вызванный малочисленностью, и отбор на светлокожесть взаимодействовали. Интересно, что эскимосы Гренландии — относительно темнокожие. Необходимый витамин D их организмы получают из обычного компонента питания эскимосов — печени рыб и тюленей. Эскимосы имеют характерные приспособительные черты — небольшой рост, плотное телосложение и толстый слой подкожного жира.

Адаптивные признаки возникают и независимо от расы. Фермент эритроцитов фосфатаза имеет три формы, соответствующие разным климатическим условиям: нормальную, «теплую» и «холодную». Частота встречаемости «холодных» аллелей, кодирующих фосфатазу, возрастает у всех народов по 10 % на каждые 20° с.ш. как приспособленность к холоду и достигает максимума у народов северных широт — лопарей, алеутов, эскимосов.

Кроме отбора, генетического дрейфа и изоляции в формировании рас действовал эффект основателя (родоначальника). Эффектом основателя можно объяснить, например, одновременное существование в Африке темнокожих низкорослых (141 см в среднем) пигмеев (<греч. pygmaios величиной с кулак) и слабо-темнокожих высокорослых (около 182 см) нилотов. Заметим, что эффект основателя является разновидностью дрейфа генов, как и популяционные волны. Такие признаки рас, как расположение бугорков на зубах, узоры на пальцах, не имеют тесной связи с окружающей средой и формируются дрейфом генов.

Человечество изменяется и сейчас. Влияние отбора в современном цивилизованном обществе ослабло, но зато распространились процессы грациализации (<лат. gratia изящество, утончение) и акселерации (<лат. acceleratio ускорение). Грациализация характеризуется снижением массивности скелета и связана с меньшей необходимостью заниматься физическим трудом. У современных грудных детей вследствие акселерации удвоение веса происходит на год раньше, чем сто лет назад, а подростки 14—16 лет стали на 15—16 см выше. Эти изменения наблюдаются у всех рас. По данным генетиков одна из причин акселерации — растущее смешение населения разных климатических зон и рас, ведущее к увеличению гетерозиготности геномов (см. с. 239). Этот же фактор повлиял на сокращение продолжительности жизни, особенно заметное среди мужчин.

Расизм. Это ложное учение о «высших» и «низших» расах. Последние считаются неспособными не только создавать культурные ценности, но и усваивать их, а потому заслуживают уничтожения. В основе расизма лежит неверное утверждение о том, что расы не связаны родством.

Генетики доказали, что характерная для рас изменчивость составляет всего 4—6 %. Это значит, что белый американец,

по фенотипу заметно отличающийся от афроамериканца, по физиолого-биохимическим показателям может оказаться к нему ближе, чем другой афроамериканец. А если бы на Земле остались одни негры, то они сохранили бы 95 % генетического разнообразия населения планеты.

В литературе иногда можно встретить утверждение, что праведный Ной за нанесенное оскорбление проклял потомков своего сына Хама (предка негроидов) и предсказал им длительное рабское положение. Этим в XVIII — XIX вв. оправдывали рабство негроидов и установление колониальной системы странами Западной Европы. Но согласно Писанию, Ной проклял только лишь потомков Ханаана (одного из сыновей Хама). Религиозная безграмотность в данном случае обернулась печальными последствиями.

Испанские завоеватели для оправдания зверского истребления индейцев утверждали, что поскольку те не могли раньше их доплыть до Америки, то не происходят от Адама и Евы, а следовательно — не люди. На самом деле первые поселенцы пришли в Америку через Аляску. Фашисты в целях мирового господства взяли на вооружение расистские взгляды некоторых антропологов и генетиков нацистской Германии, в частности Э. Фишера и Ф. Ленца, указывавших на превосходство арийской, белой расы.

Расизм пропагандировался не только в явном виде, но и под прикрытием социал-дарвинизма. Согласно этому лжеучению, развитие людей в обществе определяется тем же фактором борьбы за существование, что и среди животных в природе. В результате происходит якобы отбор более ценных людей и генетическое закрепление этого неравенства: такие люди образуют класс богатых. Уподобляя человеческое общество животному миру, сводя развитие человека к материальному преуспеянию, социал-дарвинизм обедняет сущность человека, сводит его до уровня «социального животного». Человек — прежде всего существо духовное, сотворенное по образу и подобию Божию, и главное его развитие происходит в сокровенном внутреннем мире на пути духовного совершенствования и подготовки к вечной жизни.



1. Охарактеризуйте основные расы.
2. Что вы знаете о происхождении рас?
3. С чем связано наличие расовых признаков?
4. Докажите несостоятельность расизма с точки зрения Священного Писания и расоведения.
5. Справедливо ли применение теории естественного отбора к развитию человечества?

Рекомендуемый дополнительный материал к главе 13: Вертьянов С. Происхождение жизни.—Гл. 2.—М.: Свято-Троицкая Сергиева Лавра, 2009.





Экосистемный и биосферный уровни

Глава 14. ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ

Жизнь каждого организма протекает в сообществе с особями своего вида и с другими видами. Их жизнедеятельность неразрывно связана и с природными условиями. К одной среде организмы в состоянии приспособиться, другая для их существования оказывается невозможной. Окружающая нас жизнь — это упорядоченная и устойчивая система взаимоотношений, соответствующая плану Творца о создаваемом мире, претерпевшему ряд перемен по причине грехопадения человека; совокупность организмов, чутко реагирующих на внешние условия изменениями в популяциях.

В этой главе вы узнаете о закономерностях жизнедеятельности различных сообществ живых существ в разнообразных условиях внешней среды, о факторах, определяющих устойчивость, развитие и смену биологических систем.

§ 61. Экология как наука. Экологические факторы среды

Предмет и задачи экологии. Под экологией часто понимается чрезвычайно узкий аспект этой науки — изучение наличия или отсутствия загрязнений в окружающей среде. Спектр вопросов, изучаемых экологами, значительно шире. *Экология* (<греч. oikos дом, жилище) — *наука об отношениях живых организмов между собой и со средой обитания.* Термин вошел в науку в середине XIX века, получил широкое распространение через публикации трудов немецкого исследователя Э. Геккеля.

Изучением взаимоотношений организма и среды занимаются и другие науки. Физиология исследует реакции организма на внешние воздействия, этология (наука о поведении животных) тоже рассматривает взаимодействие существ и среды, а

генетика — особенности реакции организма на внешние условия в зависимости от генотипа.

Экология рассматривает природные явления в характерном для нее аспекте. В задачу экологии входит изучение закономерностей расселения популяций на различных территориях, изменения их численности и круговорота веществ, происходящего при их участии, а также исследование цепей получения энергии различными сообществами организмов.

Совокупность популяций, обитающих на определенной территории и объединенных сетью взаимоотношений, называют *биоценозом* (<греч. koinos общий, термин предложен в 1877 г. немецким зоологом К. Мебиусом). Биоценоз составляют, например, организмы леса или пруда. Вместе с *биотопом* (<греч. topos место) — неживыми компонентами среды (почвой, водой) — биоценозы образуют *биогеоценозы*, чаще называемые *экологическими системами*. Экология, таким образом, изучает природные объекты на четырех последовательных уровнях: *организменном, популяционно-видовом, биоценотическом и экосистемном*.

На организменном уровне экологов интересуют характеристики особей, определяющие их численность и распределение в регионах, участие в круговороте веществ, возможность адаптации к различным факторам среды: температуре, влажности, освещенности мест обитания. Предметом исследований является состав и количество необходимой пищи, интенсивность фотосинтеза, особенности обмена веществ, а также плодовитость, скорость роста и продолжительность жизни. Этот раздел экологии называют *аутоэкологией* (<греч. autos сам), или *экологией особей*.

На популяционном уровне экологи изучают возрастной состав популяций, генотипы и фенотипы особей, степень их родства, динамику численности и пространственное расселение популяций. Выяснено, например, что для выживания африканских слонов необходимо стадо не менее чем из 15 особей, для северных оленей нужно стадо в 300—400 голов, а жизнеспособную стаю бакланов составляют 10 тыс. птиц. Численность популяций определяется и другими факторами. Лошади и бизоны только в стаде могут обороняться от хищников, а волки только стаей могут охотиться на крупную добычу. В то же время чрезмерная численность популяции приводит к обострению конкуренции и недостатку пищевых ресурсов.

На биоценотическом уровне экологов интересует видовой состав организмов, населяющих экосистему, их взаимоотношения. В биоценозах обитают в тесном взаимодействии животные и растения, грибы, бактерии и вирусы.

На экосистемном уровне экологи исследуют жизнедеятельность биоценозов во взаимодействии с неживыми компонентами среды.

Подчеркивая тесную связь процессов внутри каждой популяции со всей экосистемой, популяционную и экосистемную экологии иногда объединяют одним термином — *синэкология* (<греч. syn вместе). Наряду со сложившимися разделами *экологии растений* и *экологии животных* бурно развивается новая область — *экология микроорганизмов*. *Гидроэкология* изучает водные экосистемы, *лесоведение* — лесные экосистемы, *палеоэкология* реконструирует сообщества древних организмов.

Экологические знания позволяют вести промысел ценных животных и рыб, развивать сельское хозяйство и промышленность, не истощая ресурсы и не разрушая природу. Важность таких научных исследований особенно велика в наши дни, когда интенсивное развитие цивилизации стало заметно нарушать сбалансированность природных процессов.

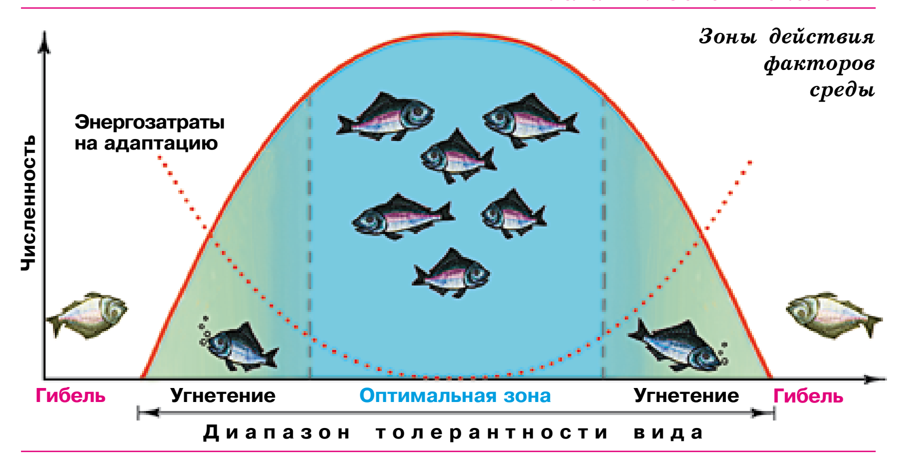
Для сохранения окружающей среды свойственный современному человеку однобокий технократический подход в отношениях с природой должен быть заменен на экологическое мышление.

Экологические факторы. Учение об экологических факторах является одним из ключевых биологических разделов экологии. Влияние природной среды на сообщества, популяции, виды и отдельные особи определяется воздействием ее элементов, которые и называют *экологическими факторами*. Любая группа организмов окружена природной средой, под которой экологи подразумевают все факторы живой и неживой природы. Различают три группы факторов природной среды.

Абиотические факторы — совокупность химических и физических факторов неживой природы. Сюда относятся компоненты климата: свет, температура, влажность, давление, подводные течения и ветры, долгота дня, смена времен года; химический состав воздуха, воды и почвы, наличие в почве питательных веществ, ее водопроницаемость и влагоемкость; радиационный фон.

Биотические факторы — все формы взаимодействия особей с окружающими их *живыми организмами*. Насекомые собирают нектар и переносят пыльцу растений, хищники поедают жертв, бактерии и грибы перерабатывают органические остатки. Опадающие листья служат пищей и местом обитания насекомым и микроорганизмам.

Важным биотическим фактором является количество и качество пищи. Выяснено, например, что мелким животным необходимо больше пищи на единицу массы, чем крупным, а теплокровным — больше, чем организмам с непостоянной температурой. Синица лазоревка (11 г) ежедневно потребляет пищу в количестве 30 % от собственной массы, певчий дрозд (90 г) — 10 %, а сарыч (900 г) — всего 4,5 %.



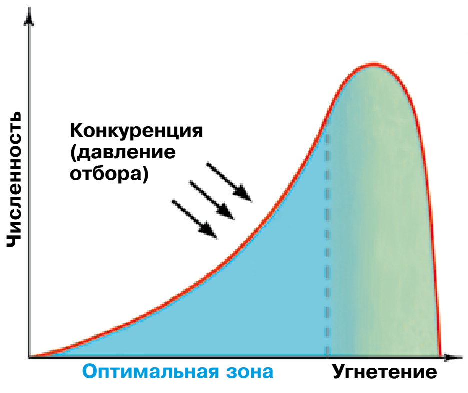
Антропогенные факторы — непосредственное вмешательство человека (охота, рыбная ловля, вырубка лесов) и загрязнение природы вследствие неразумной хозяйственной деятельности. На обширных территориях человек уничтожает природные сообщества (сводит леса, осушает болота) с целью создания искусственных сельскохозяйственных сообществ — агроценозов. Промышленные выбросы химических веществ вызывают деградацию флоры и фауны целых регионов. Экосистемы обширных районов разрушаются утечками нефти при добыче и транспортировке.

Многие абиотические факторы среды оказывают влияние на скорость протекания физиологических процессов в организмах, воздействие биотических факторов несколько сложнее. Однако для любого экологического фактора можно выделить три зоны действия: *оптимальную*, зоны *угнетения* и *гибели*. Так, по фактору среднегодовой температуры северо-запад европейской части России является оптимальной зоной для хвойных деревьев, образующих там основные массивы. Эта же температура является зоной угнетения для лиственных деревьев. Даже мелколиственное растение береза на северо-западе России значительно мельче, чем в средней полосе. Для эвкалиптов и пальм эта зона температур гибельна.

Многие пальмовые растения вырастают до нормальных размеров на побережье южного берега Крыма, но не приносят в этих условиях жизнеспособных семян. Размножение их в этом регионе возможно только в специальных питомниках с последующей высадкой. Природные условия Причерноморья являются для пальмовых зоной угнетения, их распространение в этом регионе определяется антропогенным фактором.

В некоторых случаях в зоне угнетения по какому-либо фактору (например, зимней температуры) организмы оказы-

При наличии конкурентов популяция может иметь максимальную численность в зоне угнетения (например, если эта зона для конкурента гибельна)



ваются наиболее конкурентоспособными, если эта зона неблагоприятной температуры для конкурента гибельна. Тогда численность популяции оказывается максимальной именно в зоне угнетения, а не в зоне оптимума.

Действие экологических факторов всегда взаимное. Обилие пищевых ресурсов повышает устойчивость к климатическим воздействиям, а их недостаток делает организмы более подверженными к неблагоприятным воздействиям климата. Человек легче переносит высокую температуру при низкой влажности воздуха, а холод — при высококалорийном питании. Малое количество минерального питания (например, солей азота) в почве снижает засухоустойчивость злаков. Оптимальная температура позволяет расширить диапазон приспособляемости к недостатку пищи и неблагоприятной влажности. Но положительное взаимодействие факторов небезгранично. Плохую освещенность, например, нельзя заменить ни избытком тепла, ни изобилием влаги.

Ограничивающий фактор. Любой фактор может оказаться критическим для распространения вида. Так, если в почве отсутствует малозначимый, на первый взгляд, элемент бор, рост растений будет сильно угнетен или даже невозможен независимо от количества питательных веществ и климата. Если кислотность почвы выше нормы для ржи или пшеницы, то никакие агротехнические мероприятия кроме раскисления почвы не приведут к повышению урожайности.

Факторы, угнетающие жизнедеятельность организмов, носят название ограничивающих. Значение ограничивающих факторов впервые было установлено в 1840 г. немецким химиком Ю. Либихом, основоположником почвоведения. Изучая влияние химического состава почвы на

«Бочка Либиха» — модель действия ограничивающего фактора: воду можно налить только до высоты наименьшей доски

развитие растений, ученый сформулировал принцип, согласно которому величина и устойчивость урожая определяется веществом, содержащимся в критически малом количестве.

Растение недотрога вянет, если воздух не насыщен водяными парами, а ковыль хорошо переносит засуху. Ручьевая форель благополучно обитает в воде с содержанием кислорода не менее 2 мг/л, если эта величина падает ниже 1,6 мг/л, форель гибнет. Недостаток кислорода — ограничивающий фактор для форели. Озерные рыбы приспособлены к жизни в застойных водах с низким содержанием кислорода. Мелкие водоемы в летнюю жару интенсивно прогреваются; с повышением температуры содержание кислорода в воде падает, и рыбы неспособны в них обитать. В особенно жаркие годы в водоемах происходят заморы, аналогичные зимним. Летние заморы бывают в Балтийском и Азовском морях. Высокая температура, как и плотный ледяной покров, лишает водных обитателей кислорода.

При распространении видов к северу ограничивающим фактором кроме низкой зимней температуры является и *сумма эффективных летних температур*. Развитие икры форели происходит при температуре не ниже 0 °C, это значение служит порогом развития. При температуре 2 °C мальки покидают оболочку через 205 дней, при 5 °C — через 82 дня, а при 10 °C — через 41 день. Произведение температуры на дни развития (сумма эффективных температур) остается у мальков примерно постоянной величиной, равной 410. Для зацветания мать-и-мачехи требуется сумма температур 77, для кислицы — 453, а для земляники — 500. Эти значения ограничивают географическое распространение видов. Для риса и хлопчатника требуется величина 2 000—4 000, эти культуры не могут расти в средней полосе. Для ячменя достаточно всего 1 600—1 900, и он хорошо растет в умеренных широтах. Распространение древесной растительности ограничено июльской изотермой 10—12 °C, далее лесная зона сменяется тундрой.

В период роста и развития организмы более чувствительны к действию различных факторов. Пределы выносливости для взрослых организмов обычно шире, чем для мальков, личинок и яиц. Ареал птиц определяется приемлемым для развития яиц и птенцов климатом. Многие виды крабов способны продвигаться по рекам далеко вверх, но их личинки в пресной воде развиваться не могут. Лососи благополучно переносят изменения температуры воды от −2 °C до +20 °C, а их икра развивается только в диапазоне от 0 °C до +12 °C. Очень низкая или очень высокая влажность почвы — ограничивающий фактор для личинок сельскохозяйственного вредителя жука-щелкуна. Для борьбы с этим насекомым проводят осушение или сильное увлажнение почвы, вызывающие гибель личинок.

Ограничивающими для распространения вида могут быть и биотические факторы, например наличие сильных конкурентов у хищных животных или недостаток опылителей у растений. Степень приспособляемости организмов к изменяющимся условиям среды называют *экологической выносливостью*, или *толерантностью* (<лат. tolerantia терпение). Приспособляемость организмов всегда носит интегральный характер, существа адаптируются ко всему комплексу экологических факторов, а не к какому-либо одному. Комплекс факторов среды, необходимых для существования конкретного вида, включая его связи с другими видами в экосистеме, называется *экологической нишей*. Это понятие объединяет место и условия обитания вида, его образ жизни и роль (хищник, паразит и т. д.) в экосистеме.



1. Что изучает экология? Охарактеризуйте четыре уровня экологических исследований, приведите примеры.
2. Какие группы экологических факторов вам известны?
3. Приведите примеры ограничивающего действия факторов среды.
4. Что понимают под толерантностью и экологической нишей?

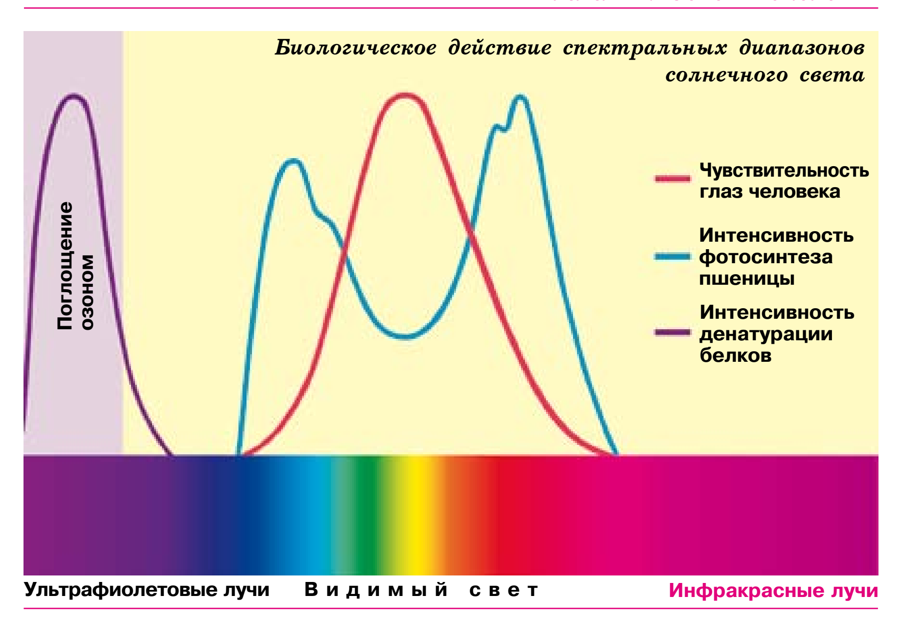
§ 62. Абиотические факторы среды: свет и влажность

Среди абиотических факторов наибольшее значение имеют *климатические факторы*: свет, влажность и температура. В связи со сменой времен года наблюдаются *сезонные ритмы* протекания биологических процессов.

Свет. Солнечное излучение — основной источник энергии для большинства организмов планеты. Автотрофные растения используют солнечный свет для построения клеток и тканей. Они преобразуют энергию света в энергию химических связей синтезируемых органических соединений. В дальнейшем энергия зеленых растений перераспределяется между другими организмами в соответствии с пищевыми отношениями.

В солнечном свете важны три спектральных диапазона, различающихся по биологическому воздействию: ультрафиолетовые лучи, видимые и инфракрасные лучи.

Ультрафиолетовые лучи с длиной волны менее 0,29 мкм вызывают повреждения биополимеров и губительны для всего живого. Жесткие ультрафиолетовые лучи задерживаются озоновым слоем атмосферы, поверхности земли достигает лишь мягкое ультрафиолетовое излучение диапазона 0,3—0,4 мкм. В небольших количествах ультрафиолетовые лучи полезны животным и человеку. Под их воздействием в организме человека образуется витамин D.



Видимый свет (0,4—0,75 мкм) составляет около 48 % лучистой энергии. Наиболее благоприятны для фотосинтеза красные лучи (0,6—0,7 мкм). Сине-фиолетовые лучи (0,4—0,5 мкм) поглощаются хлорофиллом, каротиноидами и другими компонентами клетки, но они вдвое менее эффективны, чем оранжево-красные. Наименьшую биологическую активность имеют зеленые лучи (0,5—0,6 мкм), они не поглощаются растениями, и поэтому большинство растений имеет зеленый цвет.

Инфракрасные лучи (более 0,75 мкм) не воспринимаются глазом человека, но на их долю приходится до 40 % общего количества лучистой энергии. Они согревают растения и животных, хорошо поглощаются почвой и водой. Существенная часть инфракрасных лучей, поступающих от Солнца, а также собственное тепловое излучение Земли поглощаются углекислым и некоторыми другими газами, повышая температуру атмосферы и создавая парниковый эффект.

В зависимости от требовательности к количеству света растения могут быть *светолюбивыми* (злаки, подорожник, акация, береза), *теневыносливыми* (большинство лесных растений) или *тенелюбивыми* (травы под пологом леса), в лесу они занимают различные экологические ниши — разные ярусы леса.

Животные используют солнце для географической ориентации. Некоторые насекомые способны различать ультрафиолетовые лучи, это позволяет им успешно ориентироваться на местности в облачную погоду. Ряду свободно передвигающихся организмов (бактериям, некоторым водорослям и животным)

свойственен *фототаксис* (<греч. taxis расположение) — передвижение к свету (положительный фототаксис) или в обратном направлении (отрицательный фототаксис). Многим растениям присущи *фототропизмы* (<греч. tropos поворот) — изгибание органов в процессе роста (ростовые движения) навстречу солнцу.

Хемотрофные и часть гетеротрофных организмов способны обходиться без света, они обитают в глубоких слоях почвы, пещерах и океанических глубинах. Для большинства организмов свет необходим, они приспособлены к определенному режиму освещенности, так называемому *суточному,* или *циркадному* (<лат. circa около + dies день), *ритму*. Различают три вида суточной активности: дневная (большинство животных), ночная и круглосуточная (у организмов, живущих в укрытых от солнца местах: личинок насекомых, некоторых видов полевок). В соответствии с суточным ритмом у человека и животных изменяется секреция гормонов, деление клеток, частота сердцебиений и дыхания.

Фотопериодизм. Весной в организмах растений включаются физиологические процессы, приводящие к росту и цветению растений, у птиц просыпаются гнездовые инстинкты. С приближением осени растения сбрасывают листву, животные линяют и накапливают жир, птицы сбиваются в перелетные стаи. Сигналом для всех этих изменений служит продолжительность дня, с астрономической точностью определяющая время года. Реакцию организмов на продолжительность дня называют *фотопериодизмом*. Следование организмов ходу собственных биологических часов имеет решающее значение для выживания. Погода зачастую оказывается обманчивой: жаркая осень вдруг сменяется заморозками, а временные похолодания могут случиться и летом, но организмы непременно следуют календарю.

Фотопериодический сигнал у многих животных определяет начало *диапаузы* — периода временного физиологического покоя в развитии и размножении. Для животных северных широт характерна зимняя диапауза, для южных — летняя. У насекомых даже при высокой температуре с уменьшением продолжительности дня наступает зимняя диапауза.

Если сеянцы березы искусственно освещать более 15 часов в сутки, то они растут непрерывно, если же продолжительность облучения снизить до 10—12 часов, сеянцы сбрасывают листья и переходят в состояние зимнего покоя даже в очень теплом помещении. Изменение окраски и опадание осенних листьев не обнаруживает у деревьев прямой зависимости от погоды. В европейской части России начало сентября бывает теплее конца августа, тем не менее листопад всегда начинается в сентябре. Многие листопадные деревья средней полосы — дуб, ива, граб, бук — в южных условиях с длинным зимним днем не получают сигнала о приближении осени и становятся вечнозелеными.

Если гусеницу бабочки-капустницы содержать в условиях длинного дня, то из куколки быстро выходит бабочка, если продолжительность освещенности сократить до 14 часов в сутки, то гусеница, получив фотопериодический сигнал о приближении осени, даже летом формирует зимующую куколку, которая не раскрывается многие месяцы. Подобным образом у птиц можно вызвать перелетное состояние.

Один и тот же вид в разных широтах по-разному реагирует на продолжительность дня. Развитие личинок у бабочки стрельчатки щавелевой прекращается в районе Сухуми при длине дня 14,5 часов, Витебска — 18, Санкт-Петербурга — 19,5 часов.

Фотопериодизм у людей выражается в большей оптимальной продолжительности сна зимой (на 1—2 часа). Эта разница увеличивается при перемещении к полюсу (т. е. с удлинением ночи) и практически не зависит от климата.

Изучение фотопериодизма в жизнедеятельности организмов позволило увеличить эффективность использования одомашненных растений и животных. При искусственном освещении в теплицах круглогодично выращиваются овощи, цветы, рассада, повышается яйценоскость на птицефермах.

Биологические часы некоторых растений способны «отсчитывать» годы. Предпосевной обработкой холодом удается сместить стрелки биологических часов семян на год вперед и достигнуть колошения озимых при весеннем посеве, а цветения и плодоношения двулетних растений — уже в первый год.

Влажность. Биохимические реакции в клетках протекают в водной среде. Вода — прекрасный растворитель, она идеально приспособлена для транспорта питательных веществ и вывода продуктов обмена. Поэтому регуляция содержания воды в организмах составляет их важнейшую физиологическую функцию.

От наличия воды в экосистеме зависит характер ее флоры и фауны. При избытке воды развиваются влаголюбивые растения (*гигрофиты* — <греч. hygros влажный + phyton растение), а при недостатке — засухоустойчивые (*ксерофиты* — <греч. xeros сухой). Уровень влажности определяет интенсивность воздействия температурного фактора. Если влажность слишком низка или высока, температура оказывает особенно сильное влияние, а при оптимальной влажности организмам легче переносить критические для них температуры.

Для обитания в засушливых условиях организмы имеют специальные приспособления. У засухоустойчивых растений развита корневая система (длина корней верблюжьей колючки достигает 16 м), узкие жесткие листья с густым опушением и толстым восковым слоем, препятствующим испарению. Саксаул в жаркий период утрачивает листья, осуществляя фотосинтез в зеленых стеблях; влаголюбивые растения в подобных условиях

увядают и гибнут. Пустынные животные в качестве источника влаги запасают жир, при окислении которого образуется большое количество воды. Верблюды способны переносить потери воды, равные 30 % массы тела.



1. Охарактеризуйте воздействие на живые существа трех основных спектральных диапазонов солнечного света.
2. Что понимают под фотопериодизмом?
3. Почему для организмов важно следовать» долготе дня?
4. Как влажность влияет на приспособляемость организмов?

§ 63. Абиотические факторы среды: температура, радиационный фон

Температура. Этот климатический фактор определяет скорость биохимических реакций в клетках, влияя на большинство физиологических процессов от прохождения нервных импульсов до пищеварения. Слишком высокие или слишком низкие температуры губительны для организма. Высокая температура разрушает биополимеры (белки крови человека денатурируются уже при 41—42 °C), чрезмерно низкая — губительна для тканей.

В связи с сезонными переменами климата существа наделены свойством *акклимации* — возможностью изменять пределы выносливости. С наступлением осени морозоустойчивость растений постепенно повышается накоплением в клетках углеводов. Весной она резко снижается (в случае заморозков растения могут погибнуть). У животных при акклимации к зиме меняется шерстный или перьевой покров, увеличивается жировая прослойка, запасается подкожный жир. В теплое время года включаются физиологические механизмы, защищающие от перегрева, увеличивается количество испарений через покровы и дыхательную систему. Сезонная акклимация отлична от *акклиматизации* — приспособления к новому или изменившемуся круглогодичному комплексу биотических и абиотических факторов местности.

Насекомые, пресмыкающиеся, многие звери и растения переходят с наступлением осени в состояние зимнего покоя, сопровождающегося *спячкой*. Для защиты от переохлаждения количество воды в их организмах снижается. Чтобы избежать образования льда, в тканях повышается осмотическое давление внутренних жидкостей, накапливаются холодозащитные вещества, — в результате точка замерзания жидкостей может опускаться до −20 °C. Обмен веществ замедляется. Частота

сердечных сокращений у суслика — около 300 ударов в минуту, а во время спячки — всего 3 удара, температура тела падает до +5 °С. Пустынные насекомые, грызуны и черепахи с наступлением жары впадают в летнюю спячку.

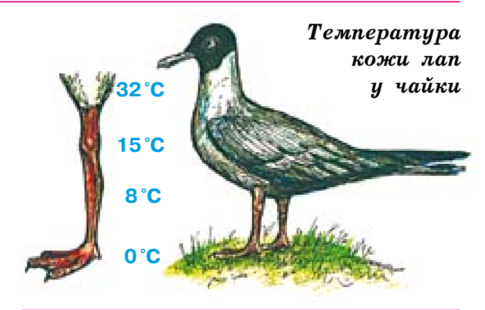
Некоторые существа способны к *анабиозу* — временному и обратимому сильному замедлению метаболических процессов. Энергия расходуется предельно экономно, обмен веществ почти прекращается. При восстановлении благоприятных условий жизнь организма возобновляется. Мухи, коловратки и нематоды выдерживают в состоянии анабиоза продолжительные понижения температуры до −190 °С. Анабиоз в сравнении с оцепенением (пониженной активностью вследствие недостатка тепла, влаги, пищи) и спячкой сопровождается более глубоким подавлением жизнедеятельности.

Организмы, способные обитать в широком диапазоне факторов среды, называют *эврибионтными* (<греч. eurys широкий), узком — *стенобионтными* (<греч. stenos узкий). Виды, обитающие в высоких широтах, как правило, эврибионтны. Тундровые песцы переносят колебания температур от +30 до −55 °С, даурская лиственница близ Верхоянска выдерживает температуру до −70 °С . Большая часть тропических животных и растений — стенобионты, снижение температуры до +5 °С для них губительно. Для большинства организмов благоприятным является диапазон от +15 до +30 °С.

В воде благодаря ее высокой теплоемкости колебания температуры существенно меньше, чем на суше. Поэтому водные виды обычно стенобионтны. Диапазон приспособленности некоторых видов антарктических рыб составляет всего 4 °С (от −2 до +2 °С). С повышением температуры до 0 °С интенсивность обмена веществ у них вырастает, а при +2 °С резко падает, и рыбы впадают в тепловое оцепенение.

Температура тела беспозвоночных и хордовых (за исключением птиц и млекопитающих) изменяется в зависимости от окружающей среды, поэтому их называют *пойкилотермными* (<греч. poikos переменчивый). Птицы и млекопитающие *гомойотермны* (<греч. homoios подобный) — благодаря более высокой интенсивности обменных процессов и существенным затратам энергии температура их тела остается относительно постоянной (35—40 °С). Для лучшей теплоизоляции они наделены оперением, густой шерстью или подкожным жиром.

В популяциях теплокровных животных с продвижением на север уменьшаются выступающие части и увеличиваются средние размеры тела. Например, уссурийский тигр крупнее индийского, а полярный волк — красного южно-азиатского. Европейский бурый медведь весит 150—280 кг, камчатский — от 400 до 500 кг, а медведи Аляски и острова Вадьяк — около 800 кг.



Температура кожи лап у чайки

Дело в том, что теплопотери пропорциональны площади поверхности тела, их удельная величина (на килограмм веса) падает с увеличением объема животного ($S_{шара}/V_{шара} = 3/r$ — с ростом радиуса потери снижаются).

Многие северные виды наделены, по выражению биологов, «чудесной сетью» кровеносных сосудов. В ластах китов и лапах птиц вены расположены вплотную к артериям. Тепло артерий передается венам и возвращается в тело, температура конечностей и теплопотери резко снижаются.

Арктические растения — в основном стелющихся форм, их листья подушковидные. Благодаря такой конфигурации растения улавливают больше солнечного света и максимально используют тепло нагретой почвы.

Сообщества наземных организмов характеризуются широтной зональностью — сменой видов при продвижении от экватора к полюсам. Влажные тропические леса переходят в субтропики и далее в листопадный лес умеренного климата и низкорослую тундровую растительность. Типы природных сообществ определенных ландшафтно-географических зон называют *биомами* (например, биом тундры или хвойных лесов). Горные цепи и бассейны крупных рек способствуют проникновению теплолюбивых видов далеко на север. Горы защищают от холодных ветров, а водные массы служат резервуаром тепла, повышающим среднюю температуру почвы и воздуха. Вода обладает большой теплоемкостью, она запасает тепло и длительное время согревает окружающую среду. Создаваемый микроклимат формирует сочетание видов, порой не характерных для данного биома.

Радиационный фон. Высокоэнергетичная радиация способна ионизировать атомы, поэтому ее называют ионизирующим излучением. Часть этого излучения приходит из космического пространства, другая — от радиоактивных пород планеты. Это ядра гелия (α-частицы), поток электронов (β-частицы), гамма- и рентгеновское излучение. Радиационный фон ионизирующего излучения в разных местах планеты отличается в 3—4 раза. Меньше всего он на поверхности моря, а максимален на вершинах гранитных гор из-за меньшей толщины атмосферы и большего количества радиоактивных элементов в гранитных породах.

Наиболее чувствительны к радиации человек и высокоорганизованные животные. Даже небольшое повышение фона приводит к заметному возрастанию частоты мутаций. У высших растений наиболее чувствительно к радиации клеточное ядро,

содержащее генетическую информацию. У животных определяющую роль играет чувствительность отдельных систем. Даже низкие дозы вызывают у млекопитающих повреждение быстро делящейся ткани костного мозга, поскольку в период деления генетический материал особенно уязвим. Неделящиеся нервные клетки повреждаются лишь при высоких уровнях облучения.

Рассеянные в окружающей среде радиоактивные элементы попадают в организмы также при движении по пищевым цепям (почва → растение → растительноядное животное → хищник). Умеренная радиация стимулирует рост ряда растений, но в целом радиация приводит к росту частоты мутаций и уродств, обеднению видового состава биоценозов.



1. По какой причине птицы и млекопитающие способны переносить значительные перепады температур?
2. Почему водные виды стенобионтны?
3. Что называют акклимацией? Приведите примеры.
4. Почему радиация особенно опасна для высокоорганизованных существ?
5. В чем преимущества и недостатки пойкилотермных и гомойотермных животных?

§ 64. Биотические факторы среды. Симбиоз

Виды организмов природных биоценозов сосуществуют в тесном и удивительно слаженном взаимодействии. Одни ученые полагают, что такие взаимодополняющие отношения сложились в результате миллионолетнего действия естественного отбора, другие признают автором этой гармонии Творца Вселенной. Взаимодействие с другими организмами дает питание и возможность размножения, защиту, смягчает неблагоприятные условия среды. Взаимоотношения организма с другими видами бывают трех типов: *симбиоз*, *антибиоз* и *нейтрализм*.

Симбиозом (<лат. sym вместе) *называют взаимовыгодные отношения разных видов*. К симбиотическим отношениям относят кооперацию, мутуализм и комменсализм. *Антибиоз — взаимоотношения видов, при которых хотя бы один из них оказывает отрицательное влияние на другого*. Антибиотические отношения подразделяют на конкуренцию (<лат. concurro сталкиваться), паразитизм и хищничество.

Если виды занимают разные экологические ниши, то они обычно мало влияют друг на друга. Их взаимоотношения называют *нейтрализмом*.

Кооперация — *взаимодействие, выгодное обоим видам, но не обязательное для них.* Раки-отшельники селятся в пустых раковинах моллюсков и возят их на себе вместе с коралловыми полипами — актиниями. Рак расширяет жизненное пространство актинии, необходимое ей для ловли добычи, и поедает часть жертв, пораженных стрекательными клетками полипа. Актиния защищает рака от хищников. Иногда к этому симбиозу присоединяется еще и многощетинковый червь. Обитая в раковине отшельника, он очищает ее и объедает паразитов с мягкого брюшка рака. Червю достается часть трапезы рака. Многощетинковые черви являются пищей раков, но своего червя рак не трогает, а нередко при смене раковины переносит его с собой.



Кооперация рака и актинии

Другой пример кооперации — взаимоотношения акул и рыб-лоцманов. Лоцманы перемещаются в водном потоке за акулой с большими скоростями при минимальных усилиях и питаются остатками трапезы хищников, их паразитами и экскрементами. Лоцманы наводят своих слабовидящих хозяев на добычу, и акулы их не трогают.

Многие мелкие и крупные рыбы периодически приплывают к местам, где их уже ожидают креветки. Рыбы принимают характерную позу — ложатся на бок или открывают пасть. Креветки собирают паразитов с поверхности тела и во рту, выстригают омертвевшие ткани. Птицы смело садятся на копытных (оленей, лосей, коров) и питаются их паразитами (клещами) или выщипывают ставшую ненужной и обременительной зимнюю шерсть, используемую птицами при постройке гнезд. Некоторые виды муравьев питаются сахаристыми экскрементами тлей и защищают их от хищников, одним словом — «пасут».

Шляпочные грибы образуют симбиоз с семенными растениями (микоризу), покрывая грибницей их корневую систему. У растения за счет грибницы существенно увеличивается объем корней, грибница поставляет воду и минеральные вещества, получая взамен необходимые грибу как гетеротрофу органические

Птицы-чистильщицы на носороге



соединения. С помощью грибов растения усваивают питательные вещества из труднодоступных соединений почвы. Микоризные растения содержат больше азота, калия, фосфора, у них увеличивается содержание хлорофилла. На корнях вересковых, брусничных кустарников, различных многолетних трав микориза образует толстый слой. В кооперации с грибами живет большинство высших растений (более 3/4 видов цветковых) и в том числе деревьев, грибница проникает даже внутрь их корней. В симбиозе с грибами деревья растут значительно лучше.

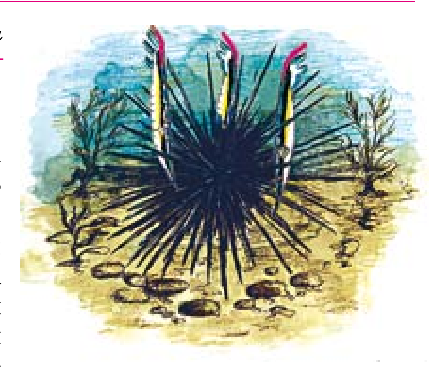
Взаимовыгодный симбиоз бобовых растений (гороха, фасоли, сои, клевера, арахиса, люцерны) с азотфиксирующими клубеньковыми бактериями широко используется в сельском хозяйстве. Бактерии усваивают атмосферный азот (N_2) и переводят его сначала в аммиак, а затем в другие соединения, снабжая ими растение и получая взамен продукты фотосинтеза. Ткани корня интенсивно разрастаются, образуя клубеньки. В севообороте бобовые культуры, обогащающие почву соединениями азота, чередуют обычно с кукурузой и картофелем. Когда отсутствие в почве азота является ограничивающим фактором, симбиоз с азотфиксирующими бактериями позволяет растениям расширить зону обитания.

Мутуализм (<лат. mutuus взаимный) — *симбиотическое взаимодействие, выгодное обоим видам, которые не могут жить самостоятельно.*

Многоклеточные животные неспособны переваривать целлюлозу (клетчатку), им в этом помогают определенные виды микроорганизмов. У насекомых (например, термитов, жуков-точильщиков) и других членистоногих эту функцию выполняют одноклеточные животные из класса жгутиковых. В пищеварительном тракте термитов жгутиконосцы вырабатывают ферменты, расщепляющие клетчатку на простые сахара. Без симбионтов термиты погибают от голода. Жгутиковые получают в организмах термитов условия для размножения и питательные вещества. У позвоночных млекопитающих (в том числе грызунов, копытных и других травоядных) целлюлозу расщепляют инфузории и кишечные бактерии. В желудке жвачных животных их обитает до нескольких килограммов. В организме человека симбиотические бактерии синтезируют ряд витаминов.

Многие виды насекомых опыляют цветковые растения и питаются их нектаром.

Лишайники представляют собой мутуализм гриба и водоросли. Грибница, оплетая клетки водорослей специальными всасывающими отростками, проникает в них и извлекает продукты фотосинтеза. Водоросль получает от гриба воду и минеральные вещества.



Рыбы среди игл морского ежа

Комменсализм (<лат. cum вместе + mensa стол) — *тип симбиоза, при котором один вид получает пользу, а другому сожительство безразлично.* Так, тундровые песцы следуют за белым медведем и доедают остатки его пищи, а рыбы-прилипалы южных морей облегчают себе передвижение и расселение, разъезжая на более крупных видах. Вместо переднего верхнего плавника у них присоска. Заодно рыбы-извозчики защищают прилипал от хищников.

Сидячие червеобразные животные погонофоры не имеют рта и пищеварительной системы. Необходимые органические соединения для них производят хемоавтотрофные бактерии, содержащиеся в центральной части их тела.

Некоторые существа используют другие виды в качестве убежища, являясь их «квартирантами». Мелкие рыбешки скрываются от хищников между иглами морских ежей, прячутся в полости морских огурцов голотурий (тип иглокожие) или под зонтиками крупных медуз, стрекательные щупальца которых служат надежной защитой. Морские рыбы карепрокты мечут икру в жаберную полость краба, а пресноводные горчаки — в полость двустворчатых моллюсков. В норах грызунов и гнездах птиц поселяется огромное количество членистоногих. Там они находят благоприятный микроклимат и остатки хозяйской трапезы. Ящерица туатара — обитательница пустынных островов Новой Зеландии — не утруждает себя устройством норы, как это делают ее сородичи, а пользуется уютным гнездышком буревестника. По строгому «распорядку» птица и ящерица пользуются гнездом в две смены: птица возвращается домой только к ночи, когда ящерица отправляется на охоту.

Мхи, лишайники, водоросли, папоротники и некоторые цветковые крепятся на древесных растениях. Не являясь паразитами, они производят необходимые вещества посредством фотосинтеза, от хозяина берут на переработку только выделения и отмирающие ткани. Такие растения называют *эпифитами* (<греч. epi над + phyton растение), их особенно много в тропиках.



1. Что называют симбиозом? Охарактеризуйте три типа симбиоза — кооперацию, мутуализм и комменсализм.
2. Чем кооперация отличается от мутуализма и комменсализма? 3. Что вы знаете о микоризе? Приведите примеры.
4. Приведите примеры нейтрализма.

§ 65. Биотические факторы среды. Антибиоз

Отношения между видами могут иметь характер, противоположный симбиозу, когда один вид наносит ущерб другому.

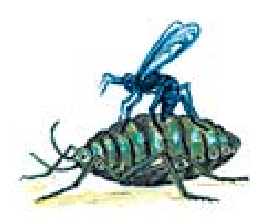
Паразитизм (<греч. parasitos нахлебник) — *взаимоотношения двух видов, при которых один из них (паразит) использует другого (хозяина) в качестве среды обитания или источника пищи, причиняя ему вред, но не вызывая немедленной гибели.* Паразитизм может быть *наружным* или *внутренним, обязательным* или *факультативным, постоянным* или *временным.*

Наружные паразиты обитают на поверхности тела (вошь, чесоточный зудень), а внутренние — во внутренних полостях (аскарида, острица), тканях (личинки цепня) и клетках (простейшие: трипанасомы, малярийный плазмодий). *Обязательные* паразиты неспособны завершить жизненный цикл без хозяина. *Факультативный* паразит круглый червь кишечная угрица обитает в почве как свободноживущий организм, при неблагоприятных условиях переходит к паразитическому существованию в тонком кишечнике человека. Постоянные паразиты обитают в организме хозяина (одного или нескольких) большую часть жизни, а временные — нападают только для питания.

Паразитизм у животных. Клопы, блохи, комары не сочетают паразитизм с квартиранством, являясь временными паразитами. Тропические мухи цеце переносят трипаносом — возбудителей сонной болезни, уносящей ежегодно тысячи жизней африканцев. Развитие малярийных плазмодиев в клетках животных и человека протекает циклами. Сначала они размножаются внутри эритроцитов, затем практически одновременно во всем организме разрывают оболочки эритроцитов и попадают в кровь. Продукты их обмена токсичны и вызывают циклические приступы лихорадки с резким повышением температуры. Среди десятков тысяч паразитических форм 500 видов — паразиты человека.

Миноги присасываются к телу рыб (трески, лосося, осетра), в течение многих дней и недель питаясь их кровью и мышечными тканями. Секрет клеток щечных желез миноги препятствует свертыванию крови и вызывая разрушение эритроцитов. Иногда рыбы погибают от ран. Такой паразитизм близок к хищничеству.

Паразиты способны и к совместным действиям. Жуки-короеды издают запах, привлекающий других особей. Совместное нападение вызывает быструю гибель дерева, оно перестает выделять защитные вещества. Численность короедов никогда не вырастает слишком сильно, жуки не выносят своего чрезмерного запаха и начинают покидать дерево, поэтому личинкам всегда хватает питания. Бабочки сибирского шелкопряда, гусеницы которых уничтожают хвою, при чрезмерных скоплениях разлетаются на расстояния до 100 км и более.



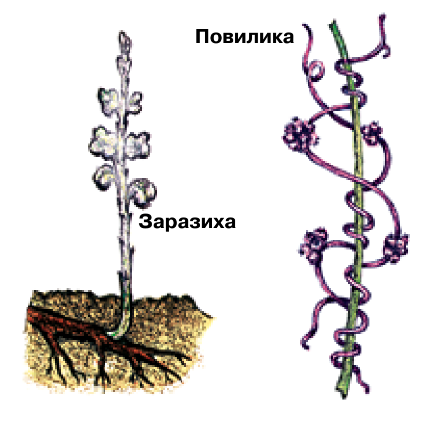

Суперпаразитизм. Наездники откладывают яйца в тело тли, в яйца насекомых-паразитов

Другой вид паразитизма — *гнездовой*. Кукушка не высиживает своих яиц, предоставляя эту возможность другим видам, в основном мелким воробьиным. Подброшенные в чужое гнездо кукушата, как правило, вылупляются из яиц быстрее и выталкивают хозяйские яйца из гнезда. Та же участь ожидает хозяйских птенцов, если они уже появились на свет. Кукушонок получает всю пищу и быстро растет. Некоторые мухи, выслеживая ос, откладывают яйца в их гнезда, дождавшись, когда хозяйка покинет жилище. Личинки мух питаются парализованными насекомыми, приготовленными осой для своего потомства.

Организмы постепенно вырабатывают устойчивость к паразитам, поэтому особенно опасно заражение новыми паразитами. Попытка акклиматизации волжской севрюги в бассейне Аральского моря окончилась массовой гибелью местных осетровых. Их уничтожили паразитические простейшие нитцшиа, переселившиеся с «гостей». Первые вспышки заболевания, вызванного у людей другим организмом, ведущим паразитический образ жизни, — вирусом гриппа — в конце XIX в. окончились крайне тяжелыми последствиями. С течением времени организмы людей вырабатывали устойчивость к заболеванию, а врачи пытались бороться с вирусом. В результате болезнь в большинстве случаев превратилась в практически безопасное ОРЗ, а паразит успешно приспособился ко всем лекарствам. Приспособленность в данном случае развивалась обеими сторонами: и организмом, и вирусом.

Существует и так называемый *суперпаразитизм*, когда одни паразиты живут за счет других. Наездники откладывают яйца в личинки жуков златок. Личинка наездника питается тканями вылупившейся гусеницы. Более мелкие наездники откладывают яйца в личинки более крупных наездников.

Паразитизм у растений и грибов. Паразитические растения и многочисленные фитопатогенные грибы поселяются на деревьях и травах, нарушая их жизнедеятельность. На кустарниках и травах паразитирует вьющееся растение рода повилика. Листья и корни у повилики отсутствуют. Обвиваясь вокруг стеблей хозяина, она внедряется в них присосками и поглощает органические и минеральные вещества. На корнях подсолнечника и конопли паразитирует растение заразиха. У нее толстый стебель и бесцветные листья. Заразиха не име-



Паразитические растения

ет хлорофилла и не способна к фотосинтезу, все необходимые вещества заразиха берет у «хозяина».

Растения-«удушители» из родов Ficus (например, баньян), Closia поселяются в верхних частях кроны дерева-хозяина и вначале ведут эпифитный образ жизни. Затем они укореняются в почве и пышно разрастаются, а дерево-хозяин погибает.

Поражение паразитическими грибами вызывает у деревьев мучнистую росу и пятнистость листьев, пожелтение и увядание листьев и хвои, болезненную ветвистость побегов («ведьмины метлы»). Гриб фитофтора паразитирует на растениях семейства пасленовых (картофель, баклажан, томаты). Низшие грибы наносят вред зерновым культурам, паразитируют на насекомых и их личинках. Поражение грибами жуков, бабочек и гусениц может носить массовый характер, в особенности осенью, когда их организмы ослаблены. Путем искусственного заражения грибом удается снижать численность тли и других вредных насекомых.

Конкуренция — *соперничество организмов, имеющих сходные потребности, за жизненные ресурсы (пищу, убежище, места для размножения).* Внутривидовую конкуренцию Ч. Дарвин рассматривал как важнейшую форму борьбы за существование. По-мнению ученого, внутривидовая конкуренция должна приводить к выживанию наиболее различающихся особей и далее — к формированию новых популяций и новых видов.

Межвидовая конкуренция у растений и грибов. Многие растения для подавления других видов вырабатывают специальные химические соединения. Корни овса выделяют вещества, задерживающие рост и развитие сорных трав. Грибы борются с конкурирующими видами грибов и бактериями, синтезируя антибиотики. Сосны выделяют фитонциды — вещества, угнетающие рост некоторых конкурирующих растений, а также убивающие болезнетворные организмы. Поэ-



Растение-«удушитель» баньян (одно дерево): воздушные корни, достигая земли, образуют множество стволов



Виды американских славок питаются в различных зонах деревьев

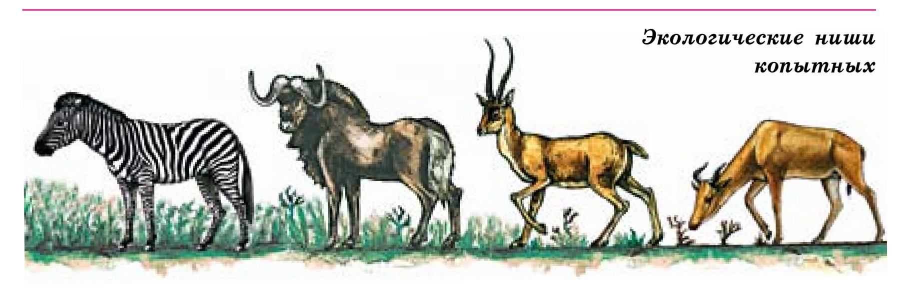
тому в сосновом бору воздух особенно чистый. Количество микроорганизмов в нем в 7—10 раз меньше, чем в березовом лесу.

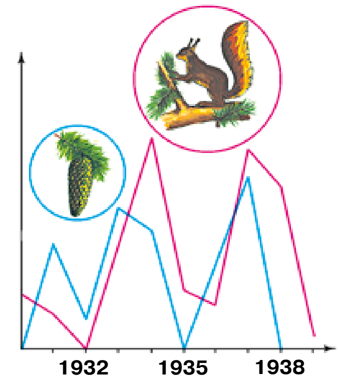
Если конкуренция напряженная, виды могут разойтись в различные экологические ниши, разделившись по времени активности, пищевым ресурсам или территориально. Невозможность продолжительного совместного обитания двух видов с близкими экологическими потребностями носит название *закона Гаузе,* или *правила конкурентного исключения.* Три вида полевых злаков — райграс, костер и лисохвост, — произрастая по отдельности, предпочитают один и тот же уровень грунтовых вод. При совместном произрастании этих видов костер вытесняется самым конкурентоспособным райграсом на сухие почвы, а лисохвост — на влажные.

Межвидовая конкуренция у животных. Пустынные экосистемы могут населять до 20 видов муравьев, занимающих различные экологические ниши. Одни муравьи питаются насекомыми, другие — экскрементами. Есть виды, которые промышляют ночью, когда насекомые наиболее доступны для муравьев. Дневные насекомоядные муравьи питаются в основном ослабленными или мертвыми насекомыми. Часть видов кормятся в кронах саксаула, другие — на поверхности земли.

Разделены зоны добычи насекомых у видов американских славок. Один вид ловит насекомых в верхушках крон деревьев, другой — в середине кроны, третий — ниже и т.д. Копытные африканских саванн также занимают различные экологические ниши: зебры поедают самые верхушки трав, антилопы гну щиплют то, что осталось от зебр, газели дощипывают самые нижние листья, а антилопы топи доедают голые стебли.

Экологические ниши копытных





Численность белок зависит от урожая шишек

Между видами может существовать несколько типов взаимоотношений. Мальки леща и лосося конкурируют за пищевые ресурсы, а взрослые лососи — хищники, поедающие молодь леща.

Хищничество — *отношения, при которых одни виды ловят, умерщвляют и поедают другие.* Взаимодействие хищник-жертва — один из главных факторов саморегуляции биоценозов.

Хищничество у животных. В современном мире хищничество мы наблюдаем повсюду. Лягушка озерная, пожирая птенцов, препятствует разведению водоплавающих птиц. Змеи поедают лягушек, птиц и их яйца, опустошая гнезда на земле и на деревьях. Электрические угри парализуют рыб, лягушек, крабов в радиусе 3—6 м импульсом электрического тока, угрям остается лишь подплыть и проглотить жертву.

Медузы секретом желез стрекательных клеток парализуют любые организмы, попавшие в зону щупалец, достигающих 20—30 м. Другой хищник божья коровка съедает ежедневно до 350 тлей. Обитатели крупного муравейника поедают в день до 100 тыс. яиц елового пилильщика, до 12 тыс. яиц бабочки серой лиственничной листовертки. Всего 5—8 муравейников успешно защищают гектар леса от повреждения этими насекомыми.

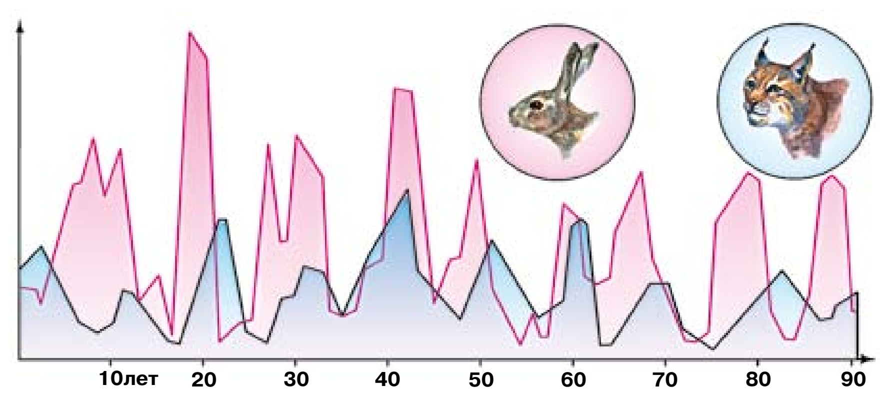
Размножение полевок, белок и зайцев обычно зависит от урожая кормов. За увеличением их численности следует интенсивное размножение хищников — лис, волков, рысей. Сокращение количества жертв снижает и количество хищников. Падение численности жертв обусловлено как подрывом кормовой базы, так и поеданием хищниками. Если хищники питаются только одним видом и не имеют других источников пищи, то некоторые популяции жертв могут оказаться полностью уничтоженными.

Взаимодействие двух видов

Взаимодействие	Вид 1	Вид 2
Нейтрализм	0	0
Кооперация	+	+
Мутуализм	+	+
Комменсализм	+	0
Паразитизм	+	–
Конкуренция	–	–
Хищничество	+	–

Во избежание полного уничтожения организмы снабжены защитными приспособлениями: панцирем и шипами, покровительственной и предостерегающей окраской, маскировкой, мимикрией.

Стадные животные и стайные птицы наделены способностями со-



Численность зайцев и рысей в Канаде изменяется с периодом 8—11 лет. Всплеск количества рысей опаздывает на 1—2 года

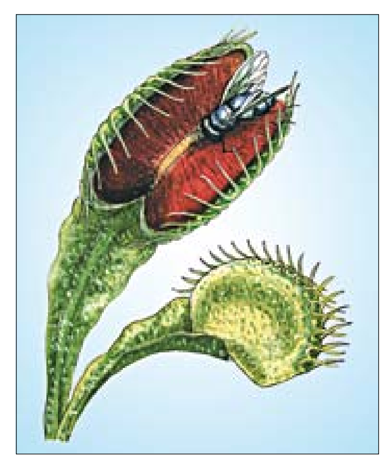
вместных действий против хищников. Скворцы при появлении сокола сбиваются в плотную кучу, и хищник не рискует атаковать, боясь получить увечья. Крупные копытные при появлении хищников становятся в круг, внутри которого прячутся молодняк и самки. Аналогично поступают павианы при нападении леопардов. Хищники в таких случаях предпочитают ограничиться отбившимися от стада больными или старыми ослабленными животными. Санитария биоценозов — еще одна немаловажная функция хищников.

Отсутствие хищников также может оказаться неблагоприятным для жертв, бесконтрольное размножение которых сопровождается поеданием всех кормов, и тогда голод катастрофически сокращает численность популяций жертв интенсивнее любых хищников.

Чрезмерное размножение животных ограничивают также эпидемии, возникающие в многочисленных популяциях. Сокращение численности вида позволяет оставшимся особям развиваться успешнее, а видовой состав биоценоза может даже стать более разнообразным. Так, морские звезды питаются мидиями, улитками, моллюсками-хитонами, морскими желудями, иногда они уничтожают обширные поселения коралловых полипов. В отсутствие морских звезд мидии способны захватить все свободное пространство и выесть практически все виды водорослей. Чем беднее видами сообщество, тем выше может быть численность



Морская звезда — грозный хищник



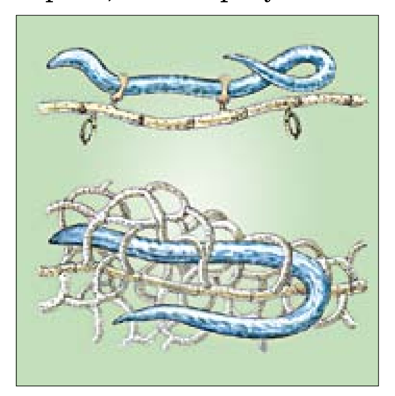
Хищное растение мухоловка

отдельного вида (*правило Тинеманна*). Обедняя биоценозы, мы рискуем вызвать всплеск размножения какого-либо вида, оставшегося без врагов и конкурентов.

История знает немало случаев, когда полное уничтожение хищников приводило к экологическим катастрофам. Так, массовое уничтожение хищных птиц в некоторых регионах привело к размножению змей, охотящихся на лягушек, поедавших саранчу. Численность насекомых бесконтрольно увеличивалась, они уничтожали растительность и сельскохозяйственные посевы на огромных территориях. К аналогичным результатам привела и «война» с воробьями в Китае, когда население шумом и криками держало воробьев в воздухе до тех пор пока обессилевшие птицы не падали замертво. Без воробьев стали бурно размножаться насекомые-вредители.

Хищничество у растений и грибов. Некоторые растения, произрастающие на бедных азотом почвах, способны ловить насекомых. Листья венериной мухоловки образуют прочные створки, снабженные жесткими ресничками. Как только насекомое коснется чувствительных волосков, створки закрываются. Тягучая слизь, покрывающая верхнюю сторону листьев росянки, удерживает насекомых: мух и муравьев. Лист постепенно изгибается, оборачивая насекомое. Слизь содержит и ферменты, переваривающие добычу.

Грибница хищных грибов выделяет вещество, привлекающее червей, она образует ловчие петли, быстро набухающие при вползании червя и зажимающие его, или клейкие сети, способные уловить даже круглых червей (длиной до 1 см). Всего за сутки грибница прорастает внутрь червя и заполняет его тело. Когда черви отсутствуют, грибы не плетут сетей. Включение соответствующих генов происходит у них при наличии в среде продуктов жизнедеятельности червей.



Хищничество у грибов

Рассмотренные типы симбиотических и антибиотических отношений характерны в наше время для всех царств живой природы.



1. Охарактеризуйте три основных типа антибиотических взаимоотношений между организмами.
2. Для чего живые существа занимают различные экологические ниши?
3. В озерах сосуществует до 7 видов дафний, в прудах 3—4, а в мелких лужах не более 2. С чем это связано?
4. Приведите примеры положительного влияния хищничества на экосистемы.

§ 66. Экосистемы

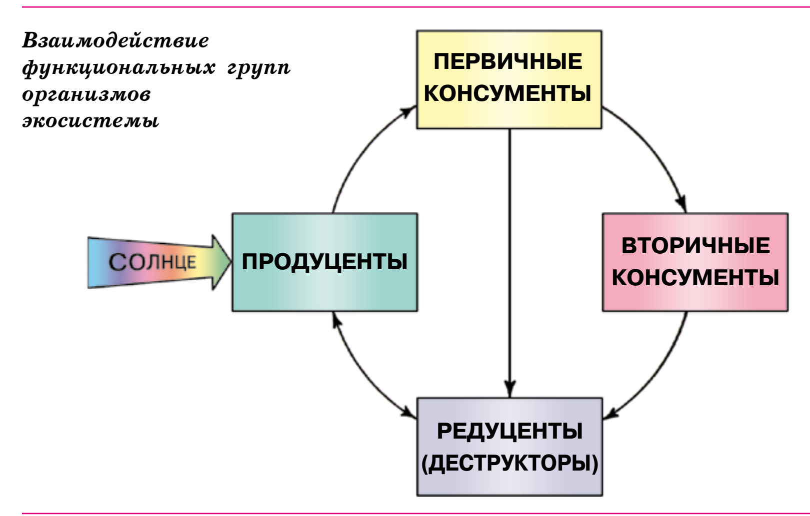
Биоценоз определяется прежде всего характером растительности. Тропические леса, тайга, степи и пустыни имеют свойственные им растительные сообщества. Тропические леса отличаются от тайги не только древостоем, но и подлеском, и травяным покровом. В каждом растительном сообществе обитают свойственные ему сообщества животных, грибов и микроорганизмов, получающие необходимые вещества и энергию от растений, а также из окружающей среды (солнца, воздуха, воды и почвы). Потоки веществ и энергии связывают сообщества между собой и с окружающей средой в неразрывное единство — экосистему.

Под экосистемой понимают совокупность совместно обитающих организмов и условий существования, объединенных в единое функциональное целое. К важнейшим свойствам экосистем относят способность осуществлять поток веществ и энергии и поддерживать постоянство своего состава. Экосистемой можно считать рощу, пруд и лесной пень — при условии, что их сообщества содержат комплекс организмов, способных совершать круговорот веществ. Теория экосистем разработана в 1935—1950 гг. английским ученым А. Д. Тенсли, предложившим в 1935 г. термин «экосистема» и русским академиком В. Н. Сукачевым, который ввел в 1940 г. термин «биогеоценоз» для наземных экосистем.

По характеру питания и получения энергии организмы всех экосистем подразделяются на три функциональные группы: продуценты, консументы и редуценты.

В первую группу *продуцентов* (<лат. producens производящий) входят производители органических веществ из неорганических. Это автотрофы — фотосинтезирующие растения

Взаимодействие функциональных групп организмов экосистемы

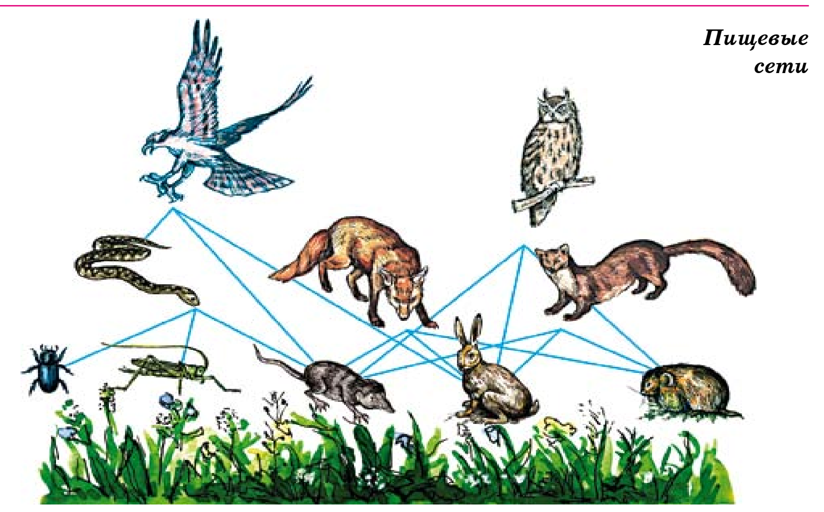


и бактерии, использующие солнечную энергию, а также хемотрофы — бактерии, использующие химическую энергию.

Продуценты являются источником органических веществ и энергии для *консументов* (<лат. consumo потребитель). Растительноядных животных называют первичными консументами; хищников, паразитов и некрофагов (трупоедов) — вторичными консументами. Более крупных хищников, поедающих консументов второго порядка, называют третичными консументами и т. д., вплоть до так называемых верховных хищников.

Замыкающая группа пищевых цепей — *редуценты* (<лат. reducere возвращать), или *деструкторы* (<лат. destructivus разрушительный), перерабатывающие остатки органического вещества всех групп (растительный опад, трупы, экскременты). Редуцентами являются бактерии, грибы, дождевые черви и т. д. Они осуществляют *минерализацию — разложение органических молекул на неорганические (соединения азота, фосфора, серы, ионы металлов), составляющие минеральное питание растений*. Некоторые грибы вырабатывают ферменты, способные разлагать даже такие компоненты древесины, которые не поддаются бактериям. Без них лес был бы завален негниющими стволами.

Только совместная жизнедеятельность продуцентов, консументов и редуцентов обеспечивает существование экосистемы. Без растений не могут обойтись животные, отсутствие растительноядных делает невозможным существование хищников. Без редуцентов экосистемы заполнились бы мертвой органической массой, а запасы минеральных веществ быстро бы иссякли. В тропических лесах все доступные минеральные вещества потребляются растениями, но их недостатка не ощущается: ре-



Пищевые сети

дуценты быстро разлагают опад на минеральные компоненты. В почвах степей минерализация также происходит достаточно интенсивно, и остатки не накапливаются. В болотных биоценозах вследствие затрудненной деятельности редуцентов преобладает накопление органической массы.

Простейший пример экосистемы — лишайник. Роль продуцентов выполняют водоросли, осуществляющие фотосинтез. Грибница выступает консументом, питающимся продуктами фотосинтеза, а бактерии и простейшие — редуцентами, перерабатывающими отмирающее вещество. Заметим, что экосистему лишайника или аквариума нельзя назвать биогеоценозом. Экосистема — понятие более многозначное, чем биогеоценоз.

Большинство видов питаются несколькими другими и сами служат пищей многим членам экосистемы. Хищные птицы ловят мышей, зайцев, змей, лягушек и ящериц. Змеи охотятся на мышей, лягушек и мелких птиц. Медведи — хищники, но употребляют мед и растительную пищу. Питаются плодами растений и лисы. Цепи питания переплетены в сложные сети, выпадение одного из звеньев может быть компенсировано другим. Чем большее количество видов составляет биоценоз, тем он устойчивее. Если, например, из цепи питания растения → зайцы → лисы выпадут по каким-либо причинам зайцы, то в богатом биоценозе лисы могут охотиться на мышей и птиц.

Рассмотренные пищевые цепи начинаются с живых организмов (продуцентов), их называют *пастбищными*. В особую группу выделяют *детритные* (<лат. detritus истертый) пищевые цепи, они начинаются не с живых организмов, а с их остатков. Например, опад листьев служит пищей дождевым червям, их экскрементами питаются бактерии и грибы и т. д.

Даже небольшие с виду нарушения в пищевых цепях могут приводить к тяжелым последствиям. Жители одного из островов Индонезии решили избавиться от москитов и протравили помещения ДДТ (яд). Умершими москитами отравились ящерицы. Ядовитыми ящерицами отравились кошки. Расплодившиеся крысы вызвали вспышку чумы. Большая партия привезенных кошек справилась с крысами, но к тому времени стали рушиться дома: после исчезновения ящериц размножились термиты и подточили балки строений.

Экологическая пирамида. Первичным источником энергии в экосистемах служит солнечный свет. При этом атомы и молекулы могут использоваться многократно, а энергия света должна постоянно поступать от Солнца.

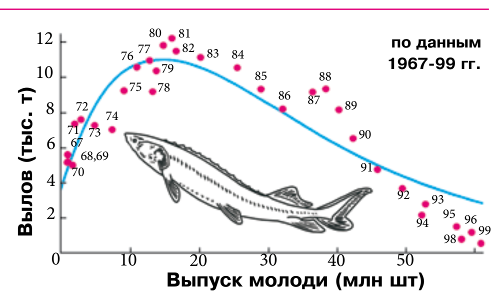
Растения усваивают около 1 % солнечной энергии, на увеличение биомассы они тратят не более 10 % усвоенной энергии, остальные 90 % идут на поддержание жизнедеятельности (в основном на дыхание — биологическое окисление). Растительноядные животные на рост и размножение тратят примерно столько же — 10 % потребляемой энергии. Поедающие их хищники расходуют на увеличение биомассы также около 10 % полученной энергии. На каждый следующий уровень переходит около 10 % биомассы и энергии, поэтому зеленые растения способны обеспечить пищевую цепь не более 3—5 уровней, например: растения → кузнечики → лягушки → змеи → совы; водоросли → рачки → салака → треска → тюлень. Вместе с веществом через экосистему проходит поток энергии, заключенной в его химических связях.

Экологическая пищевая пирамида



Относительное количество передаваемых на каждый следующий трофический (<греч. trophe пища) уровень веществ и энергии изображают в виде экологической пищевой пирамиды. Согласно правилу пирамиды, 1 т растений кормит 100 кг травоядных животных, 10 кг вторичных консументов и только 1 кг третичных. Для построения 1 кг тела человека требуется 10 кг трески, потребившей 100 кг мелких рыб, съевших 1 т зоопланктона (рачков, инфузорий и пр.), усвоившего 10 т фитопланктона (мелкие водоросли, бактерии). В таких количествах планктон потребляют только усатые киты.

Зависимость вылова осетров от выпуска молоди имеет оптимум, отвечающий правилу пищевой пирамиды (по Ю.П. Алтухову и А.Н. Евсюкову)

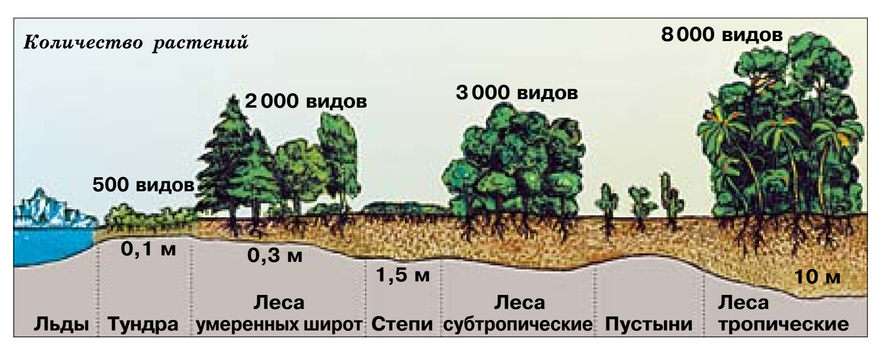


На 1 гектар лугов приходится до 10 млн растений (продуценты), около 1 млн растительноядных насекомых (первичные консументы), 300 тыс. хищных насекомых (вторичные консументы) и несколько птиц.

Правило экологической пирамиды успешно применяется в рыбном хозяйстве. Поскольку до высоких трофических уровней доходит всего 0,1—0,01 % энергии биомассы продуцентов, то в искусственных водоемах обычно выращивают рыб, наиболее близких в пищевой цепи к продуцентам. Так, карпов выгоднее выращивать, чем щук, являющихся консументами более высокого порядка: водоросли → зоопланктон → карп → окунь → щука. Нарушение правила экологической пирамиды в промысловой деятельности чревато серьезными последствиями. В Северной Атлантике, Баренцевом и Белом морях прибрежные популяции трески были оставлены без пищи и резко сократились из-за хищнической добычи мойвы, салаки и кильки.

Грубейшим нарушением правила пирамиды вызвано интенсивное сокращение численности некогда богатейшего волжского стада русского осетра. Чрезмерное количество выпускаемой рыбоводными заводами молоди (в 4—5 раз более оптимума) вызвало недостаток белкового питания и деградацию мышечной ткани осетров. Вопреки доводам ученых Института общей генетики РАН рыбоводные хозяйства еще более увеличивали количество выпускаемой молоди, руководствуясь, казалось бы, здравым соображением: чем больше мальков, тем больше рыбы.

Промышленные и бытовые сточные воды в Ладожском озере и Финском заливе, не опасные для выживания рыбы, привели к гибели значительной части первичных консументов — водных беспозвоночных (ракообразных и микроскопических кольчатых червей). Это существенно увеличило численность продуцентов (одноклеточных водорослей), вызвавших цветение воды. Размножению водорослей способствовали и минеральные соединения сточных вод, обеспечившие водоросли питанием в избытке. Чрезмерное количество отмирающих продуцентов вызвало накопление илистых отложений, уменьшение содержания кислорода, сокращение количества рыбы и, в конечном счете, деградацию экосистемы.



Географическое распространение растительной биомассы

Продукция экосистем. Важные параметры любой экосистемы — биомасса и ее прирост, т.е. урожай. Самой большой биомассой обладают тропические дождевые леса, самой маленькой — тундры и пустыни. Растительная биомасса тропических лесов составляет 500 т/га, широколиственных лесов умеренной зоны — 300 т/га, пустынь — не более 10 т/га.

Площадь листьев растений на 1 га широколиственного леса умеренной зоны, составляет около 6 га, ежегодный прирост зеленой массы — 6 т/га, корней — 4 т/га. Таким образом, общая продукция биомассы лесным массивом — 10 т/га.

Среди животных наибольшей биомассой обладают почвенные беспозвоночные — дождевые черви (1—4 т/га), биомасса лесных позвоночных в сотни раз меньше, чем червей (менее 10 кг/га).

Биомасса водорослей океана, основу которой составляет фитопланктон, в 10 000 раз меньше биомассы растений суши, а ее продукция меньше только в 3 раза. Биомасса фитопланктона в мировом океане составляет всего 1,5 млрд т, а ежегодная продукция — 550 млрд т. Биомасса океанических водорослей воспроизводится заново ежедневно (они быстро растут и быстро поедаются), а широколиственного леса — каждые 30 лет. Существенно более продолжительный цикл воспроизводства лесной биомассы отчасти обусловлен значительной массой древесных стволов, которые растут медленно в сравнении с листвой.

Пирамида биомасс большинства земных экосистем сходна с пищевой пирамидой. А пирамида биомасс океана перевернута вниз вершиной, поскольку биомасса основного продуцента океана, фитопланктона, мала, но, быстро размножаясь, фитопланктон питает превосходящие по биомассе организмы океана.

На океаническом шельфе больше света и биогенных соединений, соответственно, значительно более активное развитие фитопланктона — основного продуцента океана. Поэтому все крупное рыболовство сосредоточено на шельфе или вблизи него.

Таким образом, каждая экосистема занимает определенную территорию, обладает конкретным видовым составом, характеризуется трофической структурой (системой пищевых отношений) и биопродуктивностью.



1. Какие пищевые группы вам известны? Опишите взаимодействие этих групп на примере простейших экосистем.
2. Всякую ли экосистему можно назвать биогеоценозом?
3. По какой причине необходимо сохранять максимально возможное видовое многообразие экосистем?
4. Что называют экологической пищевой пирамидой? Приведите примеры успешного применения правила пирамиды и негативных результатов при его нарушении.
5. Сравните биомассу и урожай лесов и океанического шельфа.

§ 67. Водоем и лес как примеры экосистем

Большинство экосистем различаются видовым составом и свойствами среды обитания. Рассмотрим для примера биоценозы пресного водоема и листопадного леса.

Экосистема пресного водоема. Наиболее благоприятные условия для жизнедеятельности организмов создаются в прибрежной зоне. Вода здесь до самого дна прогревается солнечными лучами и насыщена кислородом. Вблизи берега развиваются многочисленные высшие растения (камыш, рогоз, водяной хвощ) и водоросли. В жаркое время у поверхности образуется тина, это тоже водоросли. На поверхности видны листья и цветы белой кувшинки и желтой кубышки, мелкие пластинки ряски полностью затягивают поверхность некоторых прудов. В тихих заводях скользят по поверхности воды хищные клопы-водомерки и вращаются кругами жуки-вертячки.

В толще воды обитают рыбы и многочисленные насекомые: крупный хищный клоп гладыш, водяной скорпион. Водная растительность образует на дне обширные темно-зеленые скопления. Донный ил населяют плоские черви планарии, весьма распространен кольчатый червь трубочник и пиявки.

Несмотря на внешнюю простоту пресноводного водоема, его трофическая структура достаточно сложна. Личинки насекомых, амфибий, брюхоногие моллюски, рыбы питаются высшими растениями. Многочисленные простейшие (жгутиковые, инфузории, голые и раковинные амебы), низшие ракообразные (дафнии, циклопы), фильтрующие двустворчатые моллюски, личинки насекомых (поденок, стрекоз, ручейников) поедают одноклеточные и многоклеточные водоросли.

Рачки, черви, личинки насекомых служат пищей рыбам и амфибиям (лягушкам, тритонам). Хищные рыбы (например, окунь) охотятся за растительноядными (карась), а крупные хищники (щука) — за более мелкими. Находят себе пищу и млекопитающие (выхухоль, бобры, выдры): они поедают рыбу, моллюсков, насекомых и их личинки. Органические остатки оседают на дно, на них развиваются бактерии, потребляемые простейшими и фильтрующими моллюсками. Бактерии и водные виды грибов разлагают остатки на неорганические соединения, вновь используемые растениями и водорослями.

Причиной слабого развития жизни в некоторых водоемах является низкий уровень содержания минеральных веществ или неблагоприятная кислотность воды. *Эвтрофикация* (<греч. eutrophia хорошее питание) — увеличение количества продуцентов посредством внесения биогенных соединений (солей азота и фосфора), а также нормализация кислотности известкованием (карбонаты вступают в реакцию с кислотами, растворенными в воде, и нейтрализуют их) способствуют развитию *планктона — комплекса мелких взвешенных в воде организмов (микроскопических водорослей, бактерий и их потребителей: инфузорий, рачков и пр.), не способных противостоять переносу течениями*. Планктон, являясь основанием пищевой пирамиды, питает различных животных, потребляемых рыбами. Рыб и другие водные организмы, способные к самостоятельному перемещению на большие расстояния, относят к *нектону* — <греч. nektos плавающий)

На развертывании в пространстве пищевых цепей водоема разработана технология переработки отходов животноводства. Навоз смывается в отстойники, где служит минеральным питанием многочисленным одноклеточным водорослям, — вода зацветает. Водоросли вместе с водой небольшими дозами перемещают в другой водоем, где их поедают дафнии и другие рачки-фильтраторы. В третьем пруду на рачках выращивают рыбу. Чистая вода вновь используется на фермах, избыток рачков идет на белковый корм скоту, а рыба потребляется человеком.

Водоем, как и любой биоценоз, — целостная система, взаимосвязи в которой порой бывают очень сложны. Так, уничтожение бегемотов в некоторых африканских озерах привело к исчезновению рыбы. Фекалии бегемотов служили естественным удобрением водоемов и основой развития фито- и зоопланктона. Россия издавна славилась жемчугом, добытым из раковин жемчужниц. Личинки пресноводных двустворчатых моллюсков европейской жемчужницы первые недели могут развиваться только на жабрах лососевых: семги, форели, хариуса. Чрезмерный вылов лососей в северных реках сократил численность жемчужниц. Теперь без моллюсков реки очищаются недостаточно эффективно, и икра лосося не может в них развиваться.

Экосистема листопадного леса включает несколько тысяч видов животных, более сотни видов растений. Суточные колебания температуры в лесу сглаживаются наличием растительности и повышенной влажностью: кроны деревьев дают тень, а пары воды стабилизируют температуру.

Лесная растительность конкурирует за свет. Лишь небольшая часть солнечных лучей достигает почвы, поэтому растения в лесу обитают в нескольких ярусах. В верхнем ярусе расположены кроны светолюбивых деревьев: дуба, березы, ясеня, липы, осины. Ниже — менее светолюбивые формы: клен, яблоня, груша. Еще ниже произрастают теневыносливые кустарники подлеска: калина, лещина. Тенелюбивые травянистые растения и мхи образуют самый нижний ярус — напочвенный покров. Обилие полян и опушек, создавая разнообразие условий, значительно обогащает видовой состав растительности, насекомых и птиц. *Опушечный эффект* используют при создании искусственных насаждений.

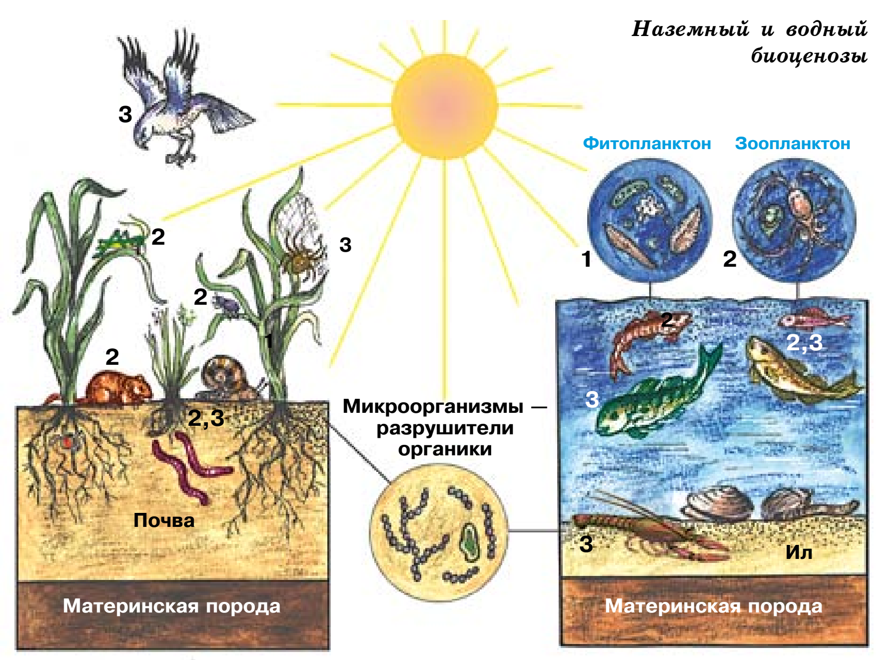
В почве живут норные грызуны (мыши, полевки), землеройки и другие мелкие существа. В нижнем ярусе леса обитают и хищные звери — лисы, медведи, барсуки. Часть млекопитающих занимает верхний ярус. На деревьях проводят основную часть времени белки, бурундуки и рыси. В разных ярусах леса гнездятся птицы: на ветвях и в дуплах деревьев, в кустарнике и траве.

Корни деревьев одного вида зачастую срастаются между собой. В результате питательные вещества перераспределяются сложным образом. В густых еловых лесах срастается корнями до 30 % деревьев, в дубняке — до 100 %. Срастание корней разных видов и родов наблюдается крайне редко. В зависимости от действия различных экологических факторов деревья одного и того же возраста могут иметь вид мощных плодоносящих особей или тонких побегов, а могут даже состариться, не достигнув зрелого состояния.

Первичные консументы представлены различными видами мышевидных грызунов, зайцами, птицами и крупными травоядными: лосями, оленями, косулями. Питательные вещества, накопленные летом листвой деревьев и кустарников, перемещаются осенью в ветви, ствол, корни, резко повышая их кормовую ценность и помогая животным пережить зимнюю бескормицу. К первичным консументам относятся и другие обитатели леса — насекомые, питающиеся листвой (гусеницы) и древесиной (короеды). Все виды позвоночных являются средой обитания и источником пищи для наружных паразитов (насекомых и клещей) и внутренних паразитов (бактерий, простейших, плоских и круглых червей).

Поверхность почвы покрыта подстилкой, образованной полуразложившимися остатками, опавшими листьями, отмершими

Наземный и водный биоценозы



1 — продуценты, 2 — первичные консументы, 3 — вторичные консументы

травами и ветвями. В подстилке обитает множество насекомых (жуки-мертвоеды, кожееды) и их личинок, дождевых червей, клещей, а также грибов, бактерий и цианобактерий, зеленым налетом покрывающих поверхность почвы, камней и стволов деревьев. Для этих существ (*сапротрофов* — <греч. sapros гнилой) органические вещества подстилки служат пищей. Значительную часть растительного опада составляет клетчатка. Шляпочные и плесневые грибы, бактерии вырабатывают ферменты, расщепляющие клетчатку до простых сахаров, легко усваиваемых живыми организмами. Обитатели почвы питаются и выделениями корневой системы деревьев: от 15 до 50 % синтезируемых деревом органических кислот, углеводов и других соединений попадает через корневую систему в почву. При ослаблении деятельности почвенных организмов опад начинает накапливаться, деревья исчерпывают запасы минерального питания, чахнут, подвергаются нападениям вредителей и гибнут. Это явление, к сожалению, часто наблюдается в городских насаждениях.

Значительную роль в жизни растений играют грибы и бактерии. Благодаря огромному количеству, быстроте размножения и высокой биохимической активности они существенно влияют на обменные процессы между корнями и почвой. Корневые системы лесных растений конкурируют за почвенный азот. С клубеньковыми бактериями, усваивающими азот из воздуха,

сожительствуют виды акации, ольхи, лоха и облепихи. Бактерии потребляют синтезируемые деревьями углеводы и другие питательные вещества, а деревья — азотные соединения, вырабатываемые бактериями. За год серая ольха способна фиксировать до 100 кг/га азота. В некоторых странах ольха используется как азотоудобряющая культура.

Каждый пищевой уровень в лесной экосистеме представлен множеством видов, значение разных групп организмов для благополучного ее существования неодинаково. Сокращение численности крупных растительноядных копытных в большинстве случаев слабо отражается на других членах экосистемы, поскольку их биомасса относительно невелика, питающиеся ими хищники в состоянии обойтись менее крупной добычей, а зеленой массы копытные потребляют относительно немного. Весьма значительна в лесной экосистеме роль растительноядных насекомых. Их биомасса во много раз больше, чем копытных животных, они выполняют важную функцию опылителей, участвуют в переработке опада и служат необходимым питанием для последующих уровней пищевых цепей.

Однако природный биоценоз — целостная система, в которой даже малозначимый с виду фактор на деле является важным. С любопытным фактом целостности дубрав столкнулись жители горы Шпессарт в Германии. На одном из склонов этой горы крестьяне вырубили дубы, а затем попытались их восстановить. Но как ни старались, на этом месте ничего не удавалось развести, кроме чахлых сосенок. В чем же дело? Оказалось, вместе с дубами были уничтожены олени. Их помет служил пищей множеству почвенных организмов, перерабатывавших остатки и удобрявших почву. Поэтому без оленей дубы и не могли расти.

Пресноводный водоем и листопадный лес имеют однотипные пищевые группы. Продуценты в лесу — деревья, кустарники, травы и мхи, в водоеме — укореняющиеся и плавающие растения, водоросли и цианобактерии. Консументы в лесу — насекомые, птицы, растительноядные и плотоядные звери, в водоеме — водные насекомые, амфибии, ракообразные, растительноядные и хищные рыбы. Редуценты в лесу представлены наземными грибами, бактериями и беспозвоночными, а в водоеме — водными. Эти же пищевые группы организмов присутствуют во всех наземных и водных экосистемах. Первичным источником энергии в сообществах водоема и леса, как и в большинстве экосистем, служит солнечный свет.

Биоценозы представляют собой слаженные системы организмов, в которых одни сообщества и виды удивительно сочетаются с другими, проявляя целостность и взаимосвязь богосотворенного мира.



1. Опишите экосистему пресного водоема. Какими организмами представлены пищевые группы водоема?
2. Являются ли ярусы леса разными экологическими нишами?
3. Сравните пищевые группы леса и водоема.
4. Докажите примерами целостность экосистем леса и водоема.

§ 68. Свойства экосистем

Целостность и самовоспроизводимость. Жизнедеятельность популяций, населяющих экосистемы, регулируется многими биотическими и абиотическими факторами. Жизненно важные органические соединения и химические элементы совершают круговорот. Растения черпают из среды минеральные вещества, а также O_2 для дыхания и CO_2 для фотосинтеза, выделяют в атмосферу CO_2 и O_2 в тех же процессах. Органические и неорганические вещества растений питают организмы популяций всех экосистем. Химические элементы этих соединений не покидают экосистемы, по пищевым цепям они доходят до редуцентов и возвращаются ими к начальному состоянию минеральных соединений и простых молекул. Солнечная энергия, аккумулируемая зелеными растениями, обеспечивает жизнедеятельность всех организмов биоценоза.

Таким образом, потоки вещества и энергии обеспечивают целостность экосистемы — взаимосвязь ее организмов друг с другом и с природной средой. Основными условиями самовоспроизводства экосистемы являются:

— наличие в среде пищи и энергии (для автотрофов — солнечной, для хемотрофов — химической);

— способность организмов совершать круговорот веществ и энергии;

— способность организмов поддерживать химический состав и физические свойства природной среды (структуру почвы, прозрачность воды).

Устойчивость экосистем. Природные экосистемы способны к длительному существованию. Даже при значительных колебаниях внешних факторов внутренние параметры сохраняют стабильность. Так, если количество осадков над лесом уменьшилось на 30 %, количество зеленой массы может снизиться всего на 15 %, а численность первичных консументов — лишь на 5 %. Свойство экосистемы сохранять внутренние параметры называют устойчивостью. Стойкость к перенесению неблагоприятных условий зависит от выносливости организмов, их способности размножаться в широком диапазоне условий и усиливается возможностью перестройки цепей питания в богатых сообществах.

Устойчивость экосистем падает с обеднением видового состава. Самые устойчивые — богатые жизнью тропические леса (свыше 8 000 видов), достаточно устойчивы леса умеренной полосы (2 000 видов), менее устойчивы тундровые биоценозы (500 видов), мало устойчивы экосистемы океанических островов. Еще менее устойчивы фруктовые сады, а посевные поля без поддержки человека вообще не могут существовать, они быстро зарастают сорняками и уничтожаются вредителями.

Саморегуляция экосистем. Эффективность саморегуляции определяется разнообразием видов и пищевых взаимоотношений между ними. Если снижается численность одного из первичных консументов, то при разнообразии видов хищники переходят к питанию более многочисленными животными, которые раньше были для них второстепенными.

Длинные цепи питания часто пересекаются, создавая возможность вариации пищевых отношений в зависимости от урожая растений, численности жертв и пр. Тигры и львы в отсутствие копытных обходятся менее крупными животными и даже растительной пищей. Сокол-сапсан охотится в воздухе, а при массовом размножении леммингов он начинает питаться этими зверьками, подхватывая их с земли. Цепь: растения → мышь → змея → орел может быть сокращена до: растения → мышь → орел. В благоприятные годы численность видов восстанавливается, и пищевые отношения в биоценозе нормализуются.

В урожайные годы возрастает количество травоядных. Хищники, обеспеченные пищей, быстро размножаются. Сокращение численности травоядных создает дефицит питания среди хищных видов, и в малокормные годы они почти не размножаются.

Каждые несколько лет численность популяций леммингов в тундре резко возрастает. Лемминги объедают тундровую растительность. Вещества растений через организм животных переходят в детрит и лишь спустя несколько лет после минерализации на почве вырастает питательный растительный покров. Численность леммингов снова возрастает. В малокормные годы их количество интенсивно сокращается не только недостатком питания, но еще и быстро размножившимися хищниками — песцами, лисами, совами. Так растения, лемминги и хищники осуществляют саморегуляцию тундровой экосистемы, сохраняя ее устойчивость и долговечность.

Вспышки размножения вредителей длятся обычно недолго. Их численность быстро сокращается недостатком питания, расплодившимися хищниками и паразитическими насекомыми (в многочисленной популяции им легче переходить на других особей), а также вирусными, бактериальными и грибковыми заболеваниями, особенно воздействующими на ослабленные недостатком корма организмы вредителей. Применение против

вредителей ядов имеет побочные эффекты. Заодно яд уничтожает насекомых-опылителей, хищных и паразитических животных. Другие насекомые, устойчивые к ядам (растительноядные клещи, комары), численность которых до внесения ядов подавлялась хищниками и паразитами, усиленно размножаются и наносят ущерб сельскохозяйственным культурам. Регуляция численности вредителей — важная экологическая задача.

Неразумное вмешательство в природные экосистемы приводит к непредсказуемым и печальным последствиям. В середине XIX в. на одной из ферм Австралии выпустили на волю 12 пар завезенных из Европы кроликов. В экосистемах Австралии было недостаточно хищников, способных регулировать их численность, и за 40 лет популяция кроликов разрослась до нескольких сот миллионов особей. Кролики расселились по всему материку, выедая проростки сосны, уничтожая луга и пастбища, подрывая кормовую базу местных травоядных — кенгуру. Поселенная в крымских лесах белка телеутка стала причинять ущерб виноградникам, а свою промысловую ценность белка утратила: ее пушистый мех в теплом климате стал коротким и грубым.

К неблагоприятным последствиям привела акклиматизация уссурийских енотов в биоценозах европейской части России. Они сократили численность лесных промысловых птиц, в особенности тетеревов, истребляя их гнезда и выводки. Еноты стали обитать вблизи населенных пунктов, нападая на птицу и мелких домашних животных. Несмотря на сходство климатических условий, еноты утратили ценные качества меха.

В процессе акклиматизации горбуши в реках северо-западного региона России из-за конкуренции за пищу и места для нереста сильно сократилась численность местных лососевых рыб. Для борьбы с личинками малярийных комаров в реках Приаралья в 40—50-е годы развели рыбу гамбузию, неожиданно интенсивно сократившую численность промысловых рыб, успешно конкурируя с ними в охоте на мелких животных. Популяции лосося в Норвегии серьезно пострадали от фурункулеза, переданного радужной форелью, завезенной из Дании.

Вселенные виды — одна из основных причин вымирания позвоночных. На Гавайские острова ввезли 22 вида млекопитающих, 160 видов птиц, 1300 видов насекомых, свыше 2 тыс. видов цветковых растений. Вселенные виды стали главной причиной вымирания 30 % птиц-аборигенов, 34 % моллюсков, перед угрозой исчезновения находятся 70 % видов гавайской флоры.

Проблема восстановления в биоценозах природной саморегуляции особенно важна в наши дни, когда многие виды находятся на грани исчезновения, а природные территории утратили свою красоту.



1. Какими факторами обеспечивается целостность экосистем?
2. Почему природные экосистемы называют самовоспроизводящимися? Чем обеспечивается их самовоспроизводство?
3. Что понимают под устойчивостью экосистем? Какие экосистемы самые устойчивые?
4. Приведите примеры саморегуляции экосистем и ее нарушения вмешательством человека.

§ 69. Развитие и смена экосистем

Устойчивость экосистем относительна, поскольку с течением времени изменяются как внешние условия, так и характер взаимодействия организмов биоценоза. Различают циклические и поступательные изменения экосистем. Циклические перемены обусловлены периодическими изменениями в природе: суточными, сезонными и многолетними. Засушливые годы чередуются с влажными, изменяется и численность популяций организмов, приспособленных либо к засухе, либо к увлажненности.

Поступательные изменения более продолжительные и обычно приводят к смене одного биоценоза другим. Их называют *сукцессией* (<лат. successio вступление на чье-либо место, преемственность) — *саморазвитием экосистемы в результате взаимодействия организмов друг с другом и с абиотической средой.* В ходе сукцессии малоустойчивый биоценоз сменяется более устойчивым. Сукцессии, начинающиеся на безжизненной лишенной почвы местности, называют *первичными сукцессиями*. Если сукцессия происходит на месте нарушенной экосистемы, то ее называют *вторичной сукцессией*.

Сукцессии могут быть вызваны:

— изменением природной среды под влиянием жизнедеятельности самих организмов экосистемы;

— восстановлением стабильных взаимоотношений между видами, нарушенных лесным пожаром, сменой климата или человеком (вторичные сукцессии);

— воздействием человека.

Сукцессии, вызванные жизнедеятельностью самих организмов, населяющих экосистему. Первичная сукцессия голой каменистой местности начинается с разрушения горных пород под действием абиотических факторов: температуры, влажности, солнечного света. Дальнейшее разрушение пород продолжают бактерии, грибы, водоросли, цианобактерии, лишайники. Продуцентами органического вещества на начальных этапах являются цианобактерии, водоросли лишайников и свободно живущие водоросли. Особенно неприхотливы цианобактерии,

они способны самостоятельно усваивать атмосферный азот. Пищевая независимость позволяет им осваивать необитаемые скалы. Их отмирающие клетки обогащают среду азотом.

Образующиеся в процессе жизнедеятельности первых поселенцев органические кислоты растворяют породы и способствуют минерализации нарождающегося почвенного слоя. В результате деятельности такого биоценоза накапливается питательная смесь органических и минеральных соединений с растительными остатками, обогащенными азотом. На питательной смеси вырастают неприхотливые споровые растения, не имеющие корней: мхи, кустистые лишайники (их корнеподобные выросты называют ризоидами).

По мере отмирания примитивной растительности формируется тонкий слой почвы. Появляются травянистые растения: осока, злаки, клевер, затеняющие первых поселенцев и лишающие их влаги. Пионерские виды постепенно вытесняются. Вслед за травами появляются кустарники, подготавливается почва для развития деревьев.

Число видов, населяющих череду экосистем, постепенно увеличивается, пищевая сеть становится все более разветвленной, все полнее используются ресурсы среды. Наконец биоценоз становится зрелой устойчивой лесной экосистемой, хорошо приспособленной к природным условиям и обладающей саморегуляцией. Популяции в этой зрелой экосистеме воспроизводятся и не вытесняются другими видами. Наступает конечный этап сукцессии — *климакс* (<греч. klimax лестница). Климаксовая растительность подмосковных лесов — дубрава с подлеском из орешника и доминированием в травяном покрове осоки. Вследствие нестабильности внешних факторов, в частности вмешательства человека, большая часть подмосковных лесов не достигает климакса.

Описанная смена экосистем от каменистой местности до лесного массива длится сотни лет, несколько быстрее происходит развитие экосистем на песчаных дюнах. При наличии благоприятных экологических факторов (в основном, влажности) на песках быстро расселяются злаки, ивняк, а вместе с ними кузнечики, роющие осы, пауки. На обжитом участке вырастают сначала сосны, а затем и лиственные формы, разнообразится животный мир, появляются различные жуки, муравьи. На месте сухой и бесплодной пустыни постепенно формируется экосистема лиственного леса с плодородной почвой, богатой дождевыми червями и моллюсками.

Определяющую роль в формировании биоценозов играют экологические факторы, благоприятствующие развитию растительности. Измененный ею грунт служит основой для формирования полноценных экосистем.

Сукцессия мелких водоемов



Практически на глазах одного поколения зарастают озера. Сначала вдоль берегов образуется плавающий растительный ковер из мхов, осок и других трав. Водоем заполняется остатками растений, которые из-за недостатка кислорода в придонных слоях не успевают перерабатываться водными обитателями. Озеро постепенно заболачивается, исчезают планктон и рыбы. Появляются растения и животные, приспособленные к болотистой среде. Болото постепенно сменяется мокрым лугом, затем кустарником и наконец зарастает лесом.

Всем знакома островная речная сукцессия. На удобренном илом островке трава становится все гуще, затем ее вытесняет кустарник, появляется слой почвы, и через 20—30 лет на месте отмели красуется лесной островок с птицами, ягодами и грибами. В ходе сукцессии увеличивается разнообразие видов животных и растений, система становится более устойчивой. Сукцессии, с чего бы они ни начались — с горельника, болота или песчаных дюн, — завершаются в климаксе лесом, чаще — лиственным, реже — хвойным.

Лес — самая устойчивая экосистема, поскольку обладает наибольшим разнообразием видов. Одни деревья не создают устойчивой экосистемы. При устройстве снегозадерживающих ветрозащитных лесопосадок возникает неожиданная проблема: деревья уничтожаются насекомыми. Для борьбы с ними необходимо создавать более устойчивый биоценоз: подсаживать кустарники для гнездовья и питания птиц, снижающих численность насекомых в лесах на 40—70 %. Аналогичные проблемы возникают при создании искусственных пастбищ и лесопарков. Науку, занимающуюся конструированием искусственных сообществ организмов, способных ужиться и дополнять друг друга, называют *экологической инженерией*.

Вторичные сукцессии. Другой причиной развития экосистем, кроме изменения абиотической среды под действием организмов, является установление стабильных взаимоотношений между видами, после их нарушения. Особенно показателен ход вторичной сукцессии при сильных отклонениях от равновесия, вызванных, например, лесным пожаром. Рассмотрим восстановление

елового леса. Прежнее пепелище в летнее время легко узнать по ярко-розовым цветкам иван-чая, на пустоши быстро расселяется вейник, лебеда, мать-и-мачеха, успешно заселяющие оголенные места. С появлением других видов эти травы не выдерживают конкуренции и быстро исчезают; постоянно кочуя, они первыми осваивают места с нарушенным растительным покровом.

Нежные всходы ели на открытых местах повреждаются заморозками и страдают от перегрева. Поэтому на горельнике сначала появляются всходы березы, осины и сосны. Создается благоприятная обстановка для потребителей веточных кормов и ягод. Возрастает численность полевок, зайцев, оленей и косуль. При переходе подроста в жердняк (молодые деревца) побеги становятся недоступными большинству животных, их численность сокращается. Затенение ухудшает и кормовые качества травяного покрова. Поэтому жердняки представляют собой наименее населенную животными стадию сукцессии лесов.

Деревья постепенно вытесняют пионерскую травянистую растительность и образуют мелколиственный или сосновый лес. Сосна — нетребовательное к качеству почвы светолюбивое растение, легко заселяющее болотистые, каменистые и песчаные грунты. Деревья в таком лесу расположены не слишком часто, поэтому нижний ярус занимают светолюбивые растения: вересковые, брусничные. Наконец наступают благоприятные условия для проростков ели.

В отличие от сосны, ель — влаголюбивое и теневыносливое растение. Ее всходы успешно конкурируют с подростом светолюбивых лиственных пород и сосной. Проникшие глубоко в почву и отмершие корни березы и сосны облегчают прорастание корням ели. В отличие от светолюбивых форм, ели располагаются в лесу более плотно. Когда они достигают верхнего яруса, то своими густыми ветвями затеняют и вытесняют лиственные деревья и проростки светолюбивой сосны. В тени растущих елей в более влажной почве развивается иной видовой состав нижних ярусов, присущий еловой тайге. Так, минуя ряд временных сообществ, самовосстанавливается исходная экосистема елового леса, устойчивая в данной почвенно-климатической зоне.

Подобным образом сосновые леса Европы там, где позволяют почвы, постепенно сменяются на еловые. Основными экологическими факторами, способствующими в Европе смене зрелых и устойчивых сосновых сообществ еловыми, являются постепенное потепление и увлажнение климата. Семена ели, оказавшись в сосновом лесу, успешно прорастают и уже не дают развиваться соснам. Сосновые леса остаются вне конкуренции на неблагоприятных для елей каменистых, болотистых и песчаных почвах, а также вдоль границы с лесотундрой.

Рассмотрим вторичную сукцессию одной из заброшенных русских деревень. Первые 10 лет буйствовали травы, потом около 15 лет преобладали кустарники. Наконец появился сосновый лес, который примерно через 100 лет после начала сукцессии сменился еловым лесом. За период сукцессии число видов птиц возросло от 2—3 до 18—20.

Сукцессии, вызванные влиянием человека. Значительные изменения в лесных экосистемах происходят и под влиянием антропогенного фактора, особенно это заметно в зеленых зонах вокруг городов. Растительность таких территорий интенсивно вытаптывается людьми, собирающими грибы, ягоды и просто гуляющими. Корневища лесных трав, в отличие от луговых, расположены непосредственно под лесной подстилкой и легко травмируются. Почва уплотняется, становится менее способной к впитыванию влаги. Вытаптывание повреждает подрост древесной растительности. У деревьев и кустарников начинают сохнуть верхушки, больные деревья легче поражаются вредителями и грибами. Листва редеет, лес изреживается и высветляется. Внедряются светолюбивые луговые травы, более устойчивые к вытаптыванию, поскольку их корневища образуют дернину. Лесные травы постепенно выпадают из травостоя.

Экосистемы лугов изменяет выпас скота. Животные поедают определенные виды трав, прежде всего злаков; распространение получают малоценные для них растения: полынь, щавель, синеголовник. Многие виды растений не успевают дать семена, а многолетние травы заменяются однолетними с менее развитой корневой системой. Почва начинает развеиваться ветром и размываться, обедняется питательными элементами, снижается урожай. Высокопродуктивная разнотравная луговая экосистема превращается в бедную пустошь.

В то же время умеренный выпас копытных в степи способствует нормальному развитию растительности. Копытные втаптывают в почву семена и разрушают слишком плотную подстилку, препятствующую их прорастанию. В ковыльно-разнотравной степи при отсутствии выпаса ковыль вытесняет остальные виды, но и сам из-за плотной подстилки отмерших листьев развивается не столь успешно. В моховых ельниках Тянь-Шаня возобновление леса идет только на кабаньих пороях с нарушенным толстым моховым покровом, мешающим прорастанию семян. В Беловежской пуще наряду с елями подобным образом возобновляются клен, граб и ясень.

Особенно быстро происходит смена биоценозов при создании водохранилищ, когда на обширных территориях сухопутные экосистемы замещаются водными, при вырубке лесов и распашке лугов с созданием агроценозов.



1. Что называют сукцессией? Назовите три основных причины поступательных изменений экосистем.
2. Что вам известно о первичных и вторичных сукцессиях?
3. Расскажите об экологических отношениях ели и сосны.
4. Почему многие сукцессии стремятся завершиться лесом?
5. Как влияет выпас скота на степную экосистему?

§ 70. Агроценозы

Наряду с естественными биоценозами существуют сообщества, созданные и регулируемые человеком — *агроценозы* (<греч. agros поле). Они занимают около 10 % суши. К агроценозам относят посевные поля, сады и огороды, пастбища, парки, различные лесные насаждения. Агроценозы составляют основу ландшафтов долины Нила, великих китайских рек и причерноморских субтропиков. Флора и фауна этих районов была сформирована людьми еще в каменном веке. На Восточно-Европейской равнине агроценозы стали развиваться после изобретения железного плуга.

В те времена южная граница широколиственных лесов проходила немного севернее современного Харькова. Массовая вырубка лесов под распашку расширила степную зону к северу, существенно облегчив набеги кочевников. Ко времени хана Батыя (XIII в.) граница лесов сместилась уже к линии Владимир—Курск. На месте уничтоженных лесов постепенно сформировались знаменитые черноземные агроценозы Центральной России.

Рассмотрим агроценоз пшеничного поля. Его растительность составляют кроме самой пшеницы еще и различные сорняки. Видов животных на пшеничном поле обитает значительно меньше, чем в естественных условиях. Кроме полевок и других грызунов здесь встречаются насекомые, зерноядные и хищные птицы, лисы. Почву населяют дождевые черви, жуки, бактерии и грибы, разлагающие и минерализующие солому и корни пшеницы, оставшиеся после сбора урожая. Таким образом, в агроценозе существуют те же пищевые группы, что и в природной экосистеме: продуценты, консументы и редуценты. Роль продуцентов в основном в нем выполняет посеянное человеком культурное растение. Агроценозы имеют и другие особенности.

Существенное отличие агроценозов от биоценозов состоит в разной направленности отбора. В природной экосистеме естественный отбор отметает неконкурентоспособные организмы и формирует сообщества, максимально устойчивые к действию неблагоприятных факторов. В агроценозах действие естественного отбора ослаблено созданием преимущественных условий

для одного вида или группы последовательно высеваемых видов. Конкурирующие виды и вредители целена-правленно уничтожаются. Действие неблагоприятных природных факторов сглаживается рыхлением, поливом, осушением переувлажненных угодий. Проводится искусственный отбор сортов с максимальной продуктивностью.

Таким образом, агроценоз в отличие от биоценоза не является саморегулирующейся экосистемой. Культурные виды настолько изменены селекцией в интересах человека, что без постоянной поддержки растения агроценозов не выдерживают конкуренции с дикими видами и вытесняются ими. На месте агроценоза в умеренном климате возникает лес, а в засушливом — степь. В сущности, жизнь агроценоза искусственно поддерживается на начальных стадиях сукцессии: почва ежегодно распахивается и засевается заново.

Агроценозы существенно отличаются балансом питательных веществ. В биоценозах вещества, потребленные продуцентами, вновь возвращаются в почву. В агроценозах большая часть органических и неорганических соединений исключается из оборота сбором урожая — круговорот веществ в агроценозах незамкнутый. Менее благоприятные в агроценозах и условия для жизнедеятельности редуцентов: биомасса корней культурных растений в 10 раз меньше, чем у диких трав, вывоз растительной массы сокращает опад, снижает поступление питательных веществ в почву. Для возмещения потерь на поля вносятся органические и минеральные удобрения, например соединения аммония: часть их непосредственно усваивается растениями, другая — окисляется нитрифицирующими бактериями до нитритов и нитратов.

С целью обогащения почвы питательными веществами проводят чередование культур. Произрастание бобовых обогащает почву азотом, поэтому, например, картофель и кукурузу высевают поочередно с бобовыми.

Биоценозы обходятся только энергией Солнца. Особенностью агроценозов являются дополнительные энергозатраты на обработку почвы (мускульные усилия животных и людей, работа сельскохозяйственных машин), полив, создание и внесение удобрений, которые позволяют агроценозам существовать и приносить урожай.

Вследствие культивирования небольшой группы растений агроценозы характеризуются значительно меньшим числом видов, более короткими пищевыми цепями, а значит — существенно меньшей устойчивостью, чем природные экосистемы. Перепахивание почвы нарушает жизнедеятельность почвенных организмов, делает их более доступными для хищников (насекомых — для птиц, а грызунов — для лисиц и сов).

Отсутствие видового разнообразия способствует массовому распространению сорняков, интенсивно размножающихся на обогащенных азотными удобрениями почвах без давления природных конкурентов. Появление на полях многолетних сорняков с мощной корневой системой заставляет человека увеличивать дозу гербицидов (<лат. herbum трава + caedere убивать). Их избыток отрицательно влияет на культурные растения: у них нарушается синтез липидов и фотосинтез.

Неустойчивость агроценозов выражается и в большей подверженности нападениям вредителей. В естественных биоценозах концентрация растений каждого вида обычно невелика, редко встречаются и их вредители. При высокой концентрации растений одного вида вредители размножаются значительно интенсивнее. Так, в естественных условиях свекловичный долгоносик поедал немногочисленные растения семейства бурачниковых. Культивирование сахарной свеклы, занявшей огромные площади, привело к быстрому размножению долгоносика и превратило его в массового вредителя. Расплодившаяся луковично-чесночная нематода (червь) способна снизить урожай в 2 раза. В 50-х годах в пойме Оки на юге Московской области располагались богатейшие разнотравные луга. Их перепахали под кукурузу, но размножившиеся паразиты так и не позволили собрать ни одного урожая этой культуры.

Количество вредителей до некоторой степени удается снизить чередованием культур, не имеющих общих врагов. Предшественниками кукурузы могут быть бобовые или картофель.

Размножение вредителей бывает вызвано уничтожением их природных врагов. После обработки инсектицидами (<лат. insectum насекомое) и пестицидами (<лат. pestis вредитель) хищные насекомые и паразиты зачастую оказываются уничтоженными, и тогда вредители интенсивно размножаются. Применение искусственно синтезированных соединений позволяет успешно гасить вспышки численности саранчи, но при этом уничтожаются и естественные враги этого вредителя. Борьба с саранчой на юге Марокко с помощью гексахлорана привела к гибели божьих коровок и златоглазок, сдерживавших размножение щитовок, белокрылок, клопов и клещей. От массового размножения этих видов сильно пострадали посевы бобовых и цитрусовых.

Против распространения вредителей борются также применением биологических методов. Численность кроликов, уничтожавших посевы в Австралии, удалось снизить, заразив популяции вирусом, близким к оспе, обнаруженным у южноамериканских кроликов. После первой же эпидемии погибло 99,8 % зверьков. Вредитель фруктовых садов австралийская щитовка попала в XIX веке в Европу из Австралии через Северную Америку.

Не встретив врагов, щитовка чрезвычайно распространилась. Оказалось необходимым переселить из Австралии в Европу и ее природного врага — божью коровку. Кактус опунция был завезен в Австралию как комнатное растение. Попав в природные условия, он так буйно размножился, что занял миллионы гектаров сельскохозяйственных земель. Справиться с этим сорняком удалось переселением из Аргентины бабочек, гусеницы которых питаются опунцией. Гусеницы довольно быстро разделались с опунцией.

Австралийский червец — насекомое, сосущее цитрусовые. В 1872 г. он был завезен в Калифорнию, размножился и стал опасным вредителем цитрусовых. Для борьбы с червецом из Австралии завезли его природного врага — божью коровку родолию. Численность червеца резко упала. В других странах также удавалось успешно сокращать численность червеца. Но родолия оказалась более чувствительной к ядохимикатам. После обработки ядами червецы стали вновь интенсивно размножаться.

На заре земледелия агроценозы были более устойчивыми: они представляли собой небольшие площади, окруженные естественной растительностью, богатой животными и опылителями. Теперь для сохранения хищников и паразитов, повышающих устойчивость агроценозов, на полях специально оставляют островки целины. Особенно необходимо поддерживать разнообразие почвенных организмов, ответственных за переработку остатков и плодородие почвы.

Еще один крупный недостаток агроценозов — подверженность эрозии (<лат. erosio разъедание). Слабые корневые системы культивируемых растений, значительная обнаженность почвы создают условия для вымывания и выветривания плодородного слоя. Ежегодно с талыми и дождевыми водами с полей уносятся миллионы тонн почвы. На юге европейской части страны овраги занимают особенно обширные территории. В засушливых степных районах развивается ветровая эрозия.

Освоение новых территорий под сельскохозяйственные угодья чрезвычайно трудоемко, поэтому бережное отношение к почвенным ресурсам сегодня особенно актуально.



1. Что называют агроценозами? Какими организмами представлены в агроценозах основные пищевые группы?
2. Назовите четыре отличия агроценозов от биогеоценозов.
3. Являются ли агроценозы менее устойчивыми в сравнении с природными экосистемами? По каким причинам?
4. Почему агроценозы более подвержены уничтожению вредителями?
5. Какие методы борьбы с вредителями экологичнее — химические или биологические? Докажите примерами.

Глава 15. ОСНОВЫ УЧЕНИЯ О БИОСФЕРЕ

Все живые существа тесно связаны между собой и с окружающей средой, образуя экосистемы — сообщества взаимодействующих организмов. Экосистемой является и лишайник, прилепившийся к стволу дерева, и обширная степь, и океанический шельф. Экосистемы, конечно же, не изолированы друг от друга: существа различных биоценозов вступают в определенные взаимоотношения, прежде всего пищевые, экосистемы обмениваются веществом и энергией. В тесной взаимосвязи они образуют единую планетарную экосистему — *биосферу*. Термин ввел в науку Ж.-Б. Ламарк в 1803 г., понимая под биосферой всю совокупность живых организмов планеты. В конце XIX в. это понятие использовал австрийский геолог Э. Зюсс, включив в него и неживую материю осадочных пород.

Годом рождения учения о биосфере считается 1926 г., когда вышла книга В. И. Вернадского «Биосфера». Заслуга академика Вернадского — в обобщении огромного количества научных данных, указывающих на тесную взаимосвязь жизни и неживого вещества планеты. Ученый показал, что Земля не только населена, но и активно преобразуется живыми организмами.

Вернадский утверждал, что вмешательство человека в природные процессы, обусловленное научно-техническими достижениями, столь существенно, что следует говорить о новой фазе развития биосферы — ноосфере («сфере разума»). Труды Вернадского инициировали ряд научных исследований и появление новых направлений — учения о биосфере и ноосфере, биогеохимии.

Современная наука о биосфере — системная дисциплина, объединяющая данные биологии и геологии, химии, климатологии, океанологии, почвоведения и ряда других наук.

§ 71. Состав и строение биосферы

Живые организмы обогащают окружающую среду кислородом, регулируют количество углекислого газа, солей различных металлов и целого ряда других соединений — словом, поддерживают необходимый для жизни состав атмосферы, гидросферы и почвы. Во многом благодаря живым организмам биосфера обладает свойством *саморегуляции* — способностью к поддержанию на планете условий, созданных Творцом.

Огромная средообразующая роль живых организмов позволила ученым выдвинуть гипотезу о том, что атмосферный воздух и почва созданы самими живыми организмами за сотни миллионов лет предполагаемой эволюции.

Академик Вернадский на основе сходства геологических пород, лежащих глубже кембрийских, с более поздними предположил, что жизнь в виде простых организмов присутствовала на планете «практически изначально». Ошибочность этих научных построений стала впоследствии очевидна геологам.

Несомненной заслугой В. И. Вернадского является твердая убежденность в том, что жизнь появляется только от живых организмов, но ученый, отвергая библейское учение о сотворении мира, полагал, что «жизнь вечна, как вечен космос», и попала на Землю с других планет в виде наипростейших организмов. Идея Вернадского не подтвердилась: гипотеза эволюционного происхождения организмов планеты от простейших форм сегодня еще более противоречива, чем во времена Вернадского.

Энергетической основой существования жизни на Земле является Солнце, поэтому биосферу можно определить как *пронизанную жизнью оболочку Земли, состав и структура которой формируется совместной деятельностью живых организмов и определяется постоянным притоком солнечной энергии.*

Вернадский указывал на главное отличие биосферы от глубинных пластов — проявление в ней геологической деятельности живых существ. Живые организмы ученый рассматривал как систему преобразования лучистой энергии солнца в энергию геохимических процессов.

В составе биосферы различают *живое* и *неживое вещество* — живые организмы и инертную материю. Основная масса живого вещества сосредоточена в зоне пересечения трех геологических оболочек планеты: атмосферы, гидросферы (океаны, моря, реки и пр.) и литосферы (поверхностный слой пород, <греч. lithos камень). К неживому веществу биосферы относится составная часть этих оболочек, связанная с живым веществом циркуляцией веществ и энергии.

В неживом компоненте биосферы различают: *биогенное вещество*, являющееся результатом жизнедеятельности организмов — нефть, каменный уголь, торф, природный газ, известняки биогенного происхождения; *биокосное вещество*, формирующееся совместно организмами и небиологическими процессами — почва, ил, природная вода рек, озер (вспомним, например, фильтрующих рачков, которые делают ее чистой, пригодной для жизни); *косное вещество*, не являющееся продуктом жизнедеятельности организмов, но входящее в биологический круговорот — вода (значительная ее часть, минует переработку живыми организмами), атмосферный азот, соли металлов.

Концентрация живого вещества на больших высотах столь ничтожна, что биосферу считают ограниченной на высоте 20—25 км озоновым слоем, защищающим живые существа от разрушительного воздействия жесткого излучения.

В гидросфере жизнь распространена повсюду. В Марианской впадине на глубине 11 км при давлении 1100 атм и температуре 2,4 °С обитают голотурии, беспозвоночные и рыбы. Под толщей антарктического льда более 400 м обитают бактерии, цианобактерии, диатомовые водоросли и фораминиферы, ракообразные. Глубины 2—3 км считаются нижней границей биосферы; общая ее толщина, таким образом, в разных частях планеты изменяется от 12—15 до 30—35 км.

Атмосфера в основном состоит из N_2 (78 %) и O_2 (21 %). В небольших количествах входят Ar (1 %), CO_2 (0,03 %), O_3. От состояния атмосферы зависит жизнедеятельность как организмов суши, так и водных существ. O_2 используется в основном для дыхания и минерализации (окисления) отмирающего органического вещества. CO_2 необходим для фотосинтеза.

Гидросфера. Вода — один из самых необходимых компонентов биосферы. Около 90 % воды находится в мировом океане, занимающем 70 % поверхности планеты, только 0,014 % составляют пресные воды рек и озер. Важным параметром для развития жизни является концентрация в воде биогенных элементов, O_2 и CO_2 (в воде в сотни раз больше CO_2, чем в воздухе). Тропические области открытого океана плохо перемешиваются, сильно прогреваются и бедны кислородом, по малонаселенности их можно сравнить с континентальной пустыней. В приполярных зонах теплые воды как более легкие поднимаются и выносят к поверхности необходимые планктону биогенные соединения. Обильное развитие планктона у берегов Антарктиды служит кормовой базой для многих обитающих там животных. В морях и океанах различают *пять типов сгущений жизни*:

1. *Шельфовые* (<англ. shelf) *прибрежные* при общей площади дна около 8 % содержат 60 % биомассы океана. Эта зона хорошо освещена, богата кислородом (по причине интенсивного перемешивания), различными биогенными соединениями, поступающими с суши (например, с речной водой). Здесь процветает планктон, питающий многочисленные подвижные организмы *нектона* (рыб, головоногих моллюсков и пр.). Эти существа значительно крупнее организмов планктона, но их общая биомасса в 20 раз меньше массы планктона.

Океанический планктон составляют два сообщества:

а) *фитопланктон* — основной продуцент океана (водоросли, 70 % из которых — микроскопические диатомовые, бактерии), населяющий поверхностные воды до глубины 50—100 м;

б) *зоопланктон* — первичные консументы фитопланктона (моллюски, рачки, простейшие, оболочники, различные беспозвоночные и их личинки), обитающие во всей толще воды.

Жизнь зоопланктона протекает в постоянном движении, он то поднимается, то опускается на глубину до 1 км, из-

бегая своих пожирателей (отсюда и название: <греч. planktos блуждающий). Зоопланктон — основная пища усатых китов. Фитопланктон составляет всего 8 % от массы зоопланктона, но, быстро размножаясь, продуцирует в 10 раз больше биомассы, чем вся остальная океаническая жизнь. Фитопланктон дает 50 % кислорода планеты (остальные 50 % производят леса).

Донный напарник планктона *бентос* (<греч. benthos глубина) перерабатывает органические остатки планктона. Организмы бентоса: крабы, двустворчатые моллюски, черви, морские звезды и ежи, голотурии, фораминиферы (морские корненожки), водоросли и бактерии — приспособлены к жизни почти без света. Превращая органические остатки в минеральные вещества, восходящими потоками доставляющиеся в верхние слои, бентос питает планктон. Чем богаче бентос, тем богаче планктон, и наоборот. За пределами шельфа количество обоих падает в 10—100 раз.

Планктон и бентос формируют в океане мощный слой карбонатных и кремнеземных илов, образующих осадочные породы. Карбонатные осадки способны превращаться в камень всего за несколько десятков лет.

2. *Апвелинговые* (<англ. up наверх + well хлынуть) сгущения образованы на местах выноса к поверхности глубинных вод, содержащих продукцию бентоса (вследствие сгона поверхностных вод постоянно дующими вдоль побережья ветрами). Известны Калифорнийский, Сомалийский, Бенгальский, Канарский и особенно Перуанский апвелинг, дающий около 20 % мирового промысла рыбы.

3. *Рифовые* (<нем. Riff) — известные всем коралловые рифы, изобилующие цианобактериями, водорослями, моллюсками, иглокожими и рыбой. Растут рифы обычно по 1—2 см в год, (иногда по 20—30 см в год) не только за счет коралловых полипов, но и за счет жизнедеятельности моллюсков и иглокожих, концентрирующих кальций, а также зеленых и красных водорослей с известковым скелетом.

Основной продуцент рифовых экосистем — микроскопические фототрофные водоросли, поэтому рифы находятся на глубинах не более 50 м, им требуется прозрачная теплая вода с определенной соленостью. Рифы — одна из самых продуктивных систем биосферы, образующая ежедневно до 2 т/га биомассы.

4. *Саргассовые* сгущения — поля плавающих на поверхности бурых и багрянниковых водорослей с множеством воздушных пузырьков. Распространены в Саргассовом и Черном морях.

5. *Абиссальные рифтовые придонные* (<греч. abyssos бездонный, англ. rift трещина) сгущения формируются на глубине до 3 км вокруг горячих источников на разломах океанической коры (рифтах). В этих местах выносится из земных недр сероводород,

ионы железа и марганца, соединения азота (оксиды, аммиак), питающие хемотрофные бактерии — продуценты, потребляемые более сложными организмами (моллюсками, крабами, раками, рыбами и огромными сидячими червеобразными животными погонофорами). Эти организмы не нуждаются в солнечном свете. В рифтовых зонах существа растут примерно в 500 раз быстрее и достигают внушительных размеров. Двустворчатые моллюски достигают 30 см в диаметре, бактерии — до 0,11 мм. Известны галапагосские рифтовые сгущения, а также у острова Пасхи.

В море преобладает разнообразие животных, а на суше — растений. Только покрытосеменные составляют 50 % всех видов растений планеты, а морские водоросли — лишь 5 %. Общая биомасса на суше представлена на 92 % зелеными растениями, а в океане 94 % составляют животные и микроорганизмы.

Биомасса планеты обновляется в среднем каждые 8 лет, растения суши — за 14 лет, океана — за 33 дня (фитопланктон — ежедневно). Вся вода проходит через живые организмы за 3 тыс. лет, кислород — за 2—5 тыс. лет, а углекислый газ атмосферы — всего за 6 лет. Существенно более длительны циклы углерода, азота и фосфора. Биологический круговорот не замкнут, около 10 % вещества уходит в виде осадочных отложений и захоронений в литосферу.

Масса биосферы составляет всего 0,05 % массы Земли, а ее объем — около 0,4 %. Общая масса живого вещества составляет 0,01—0,02 % от косного вещества биосферы, но роль живых организмов в геохимических процессах весьма значительна. Ежегодная продукция живого вещества составляет около 200 млрд т сухого веса органических веществ, в процессе фотосинтеза 70 млрд т воды реагирует с 170 млрд т углекислого газа. Ежегодно жизнедеятельность организмов вовлекает в биогенный круговорот 6 млрд т азота, 2 млрд т фосфора, железо, серу, магний, кальций, калий и др. элементы. Человечество, используя многочисленную технику, добывает около 100 млрд т полезных ископаемых в год.

Жизнедеятельность организмов вносит существенный вклад в планетарный круговорот веществ, осуществляя его регуляцию, жизнь служит мощным геологическим фактором, стабилизирующим биосферу.



1. Что называют биосферой, ноосферой? В чем основной вклад В. И. Вернадского в развитие учения о биосфере?
2. Из каких компонентов состоит вещество биосферы?
3. Охарактеризуйте три основных оболочки биосферы и докажите их взаимосвязь.
4. Как связаны организмы бентоса, планктона и отложения океанического дна?

§ 72. Биогеохимические процессы в биосфере

Функции живого вещества. Различают пять основных функций живого вещества биосферы.

1. *Энергетическая* функция. Растения поглощают около 1 % солнечного света и насыщают энергией биосферу. В виде химических связей фотосинтезированных соединений энергия распределяется по пищевым цепям в экосистемах биосферы. Некоторое количество энергии консервируется в виде полезных ископаемых (торфа, угля, нефти), насыщая энергией земные недра.

В энергетической функции иногда выделяют окислительно-восстановительную функцию. Хемосинтезирующие бактерии извлекают энергию, осуществляя окислительно-восстановительные реакции. Серобактерии получают энергию, окисляя сероводород, а железобактерии — двухвалентное железо до трехвалентного. Нитрифицирующие бактерии окисляют соединения аммония до нитритов и нитратов.

2. *Средообразующая.* Живые существа формируют почву, поддерживают состав атмосферы и гидросферы. Без фотосинтеза атмосферный кислород израсходовался бы за 2000 лет, а рост количества углекислого газа через 100 лет привел бы к гибели организмов. За день лесной массив способен поглотить до 20—25 % углекислого газа из слоя воздуха в 50 м. Среднее дерево обеспечивает кислородом 4 человек, один гектар лиственного леса вблизи города задерживает более 100 т пыли в год.

Благодаря деятельности мелких байкальских рачков, трижды в год процеживающих всю воду озера, Байкал славится своей чистой водой. Двустворчатые моллюски Волгоградского водохранилища, дважды в месяц профильтровывая полный его объем — 35 км^3, осаждают на грунт с апреля по ноябрь более 29 млн т взвеси.

3. *Концентрационная* функция. Живые существа концентрируют в своих организмах различные химические элементы, рассеянные в биосфере. Активнейшими концентраторами являются микроорганизмы. До 90 % почвенного азота — результат деятельности цианобактерий. Одни бактерии концентрируют железо (например, окисляя хорошо растворимый в воде гидрокарбонат до нерастворимого гидроксида, накапливающегося в среде их обитания), другие — марганец, третьи — серебро. Бактерии способны увеличивать содержание железа — в 650 тыс. раз, марганца — в 120 тыс. раз, ванадия — в 420 тыс. раз.

Эта удивительная способность позволила ученым предположить, что сообщества бактерий вносят существенный вклад в формирование месторождений металлов.



Ветвистоусые рачки способны ежедневно профильтровывать всю воду пруда или озера

Германий и селен в некоторых странах добывают из растений. В водоросли фукус накапливается титана в 10 тыс. раз больше, чем в окружающей морской воде. Каждая тонна бурых водорослей содержит несколько килограммов йода. Австралийский шелковистый дуб концентрирует алюминий, один из видов американского дуба — медь, сосна накапливает бериллий, береза — стронций и барий, лиственница — марганец и ниобий, а черемуха, осина и пихта — торий. Золото «собирают» дуб, кукуруза, хвощ, бурые и красные водоросли, а в 1 т золы полыни может содержаться до 85 г этого драгоценного металла. Моллюски концентрируют никель, осьминоги — медь, медузы — цинк и алюминий.

4. *Деструктивная* функция. Разнообразные живые организмы от бактерий и грибов до высших растений выделяют вещества, разъедающие и разрушающие породы литосферы. Цианобактерии, бактерии, грибы и лишайники выделяют неорганические и органические кислоты, разрушающие твердые породы.

5. *Транспортная* функция организмов связана с переносом масс вещества. Растения втягивают корнями воду и испаряют ее в атмосферу, рыба плывет против течения, роющие существа выбрасывают землю наверх, стада и стаи мигрируют. Вес стаи перелетной саранчи может достигать миллионов тонн.

Разнообразные функции живого вещества позволяют ему проводить грандиозную геологическую работу, формировать облик биосферы, активно участвовать во всех ее процессах.

Роль живых организмов в формировании осадочных пород. Первым этапом образования осадочных пород является *выветривание* — разрушение литосферы под действием естественных факторов: воздуха, воды, солнца и живых организмов.

Корни растений наделены удивительной жизнеспособностью; внедряясь в породу, они разрушают ее. Просачиваясь в образованные корнями трещинки, вода растворяет и уносит вещество. Растворению способствуют содержащиеся в природной воде разъедающие вещества живых организмов. Особенно интенсивно выделяют органические кислоты лишайники. Вещества, выделяемые цианобактериями и диатомовыми водорослями, разъедают и превращают в песок минералы, основу которых

составляют соединения кремния и алюминия. Физическое выветривание пород сопровождается, таким образом, химическим выветриванием.

За счет отмирания организмов планктона и бентоса ежегодно на дне морей и океанов отлагается около 100 млн т органогенных известняков (часть известняков — химического происхождения, они отлагаются, например, в зоне контакта кислотных и щелочных подземных вод). Одноклеточные диатомовые водоросли и радиолярии, отмирая, формируют кремнийсодержащие илы, покрывающие сотни тысяч квадратных километров морского дна.

Живые существа вносят существенный вклад в осадконакопление и формирование пород литосферы.

Почвообразующая роль живых организмов. Разрушение горных пород и их дальнейшая переработка микроорганизмами и растениями приводит к образованию рыхлой плодородной оболочки земли — почвы. Корни деревьев извлекают из глубоких горизонтов почвы элементы минерального питания и обогащают ими верхние слои, повышая плодородность почв. Мертвые корни и листья растений, трупы и экскременты животных служат пищей для почвенных организмов, минерализующих органические остатки и обогащающих почву биогенными соединениями.

Почвенные беспозвоночные вырабатывают и выделяют в почву различные биологически активные вещества, так, например, дождевые черви продуцируют соединения, способствующие росту растений.

Различные позвоночные (кроты, землеройки) и беспозвоночные животные, почвенные насекомые и их личинки проводят огромную структурообразующую работу. Они разрыхляют почву, делают ее пористой и пригодной для жизнедеятельности растений. Пористость способствует газообмену, необходимому для развития корней растений. Число дождевых червей на гектаре леса достигает 2—3 млн (1—2 т), за сутки они могут перерыть до 10 т земли. Пропуская почву через кишечник и вынося ее на поверхность, они ежегодно формируют слой переработанного грунта толщиной до 0,5 см, массой 25 т/га. Черви обитают в почве несколькими ярусами. Одни проникают на глубину до метра и затаскивают туда остатки листвы, другие живут в тонком слое почвенного перегноя (20—30 см), а третьи проводят жизнь в слое лиственного опада.

Ночью при охлаждении и сжатии воздух проникает в почву. Кислород используется для дыхания почвенными организмами и клетками корней растений. Азот связывается бактериями и цианобактериями. Днем при нагревании почва выделяет продукты жизнедеятельности почвенных организмов и разложения

органических остатков: аммиак, сероводород и углекислый газ. Дождевая вода частично удерживается почвой, другая ее часть, растворяя минеральные соли, выносит их в реки и океаны, где они осаждаются или используются водными организмами. В нагретой почве вода поднимается по капиллярам и испаряется. Происходит перемещение растворов и отложение солей в различных почвенных горизонтах.

Мощность слоя почвы, как и количество биомассы, увеличивается с приближением к экватору. Тундровая почва северных широт имеет толщину 5—10 см, в хвойных и лиственных лесах она достигает 20—40 см, в степях — до 1,5 м, а в тропических лесах — 10 м.

В состав почвы входит 40—60 объемных процентов минеральных веществ, 25—35 % воды, 15—25 % воздуха, а также до 10—16 % органических веществ, около 90 % которых составляют гумус (<лат. humus почва). Количество гумуса служит показателем плодородия. В черноземах его 400—700 т/га, а в почвах тундр и пустынь — всего 0,6—0,7 т/га.

Частички гумуса строятся из фрагментов органических молекул (белков, углеводов) при активном участии микроорганизмов почвы. Сначала почвенные животные (черви, насекомые) размельчают остатки растений. Затем грибы и микроорганизмы расщепляют сложные органические молекулы (целлюлозу, белки и пр.) на простые фрагменты. Другие микроорганизмы с помощью ферментов соединяют эти фрагменты в органические молекулы гумуса (в основном, гуминовые кислоты), длинными цепями обвивающие частички глины в несколько слоев. Получаются устойчивые к действию химических соединений и микроорганизмов гранулы, способные сохранять запас плодородия длительное время.

При недостатке питательных веществ особые микроорганизмы «распечатывают» эти гранулы и высвобождают их плодородные компоненты. Важно, что это происходит постепенно: «распечатанные» минеральные компоненты гумуса не успевают вымываться, а усваиваются растениями.

Частички гумуса придают почве водо- и воздухопроницаемость. Гумус участвует в разрушении минералов почвенной подложки, вовлекает их в биологический круговорот. Микроорганизмы-гумусообразователи теплолюбивы, поэтому в южных широтах почвы особенно богаты гумусом. Когда почву распахивают и оставляют под паром на год-два, то в прогретой вспаханной земле микроорганизмы образуют гумус из отмершей при вспахивании растительности. Почва, обогащенная гумусом, становится более плодородной. В этом секрет так называемого черного пара (когда землю оставляют под пар вспаханной).

Особенно богата гумусом степная почва. В степи обитает множество копытных, змей, грызунов, лис, ящериц. Их экскременты хорошо удобряют почву, микроорганизмы эффективно переводят их в гумус. Азотные удобрения снижают содержание гумуса, поскольку в условиях избытка азота активизируются микроорганизмы, разрушающие гумус. Черноземы русских степей содержали до 12—16 % гумуса, превосходя плодородием почвы Бразилии, Венесуэлы и США. Поэтому-то немецкие оккупанты и вывозили эшелонами русский и украинский чернозем.

В гумусе содержится основной энергетический запас почвы. Растительность чернозема использует лишь 10 % энергии, запасенной в гумусе.

Почва может отдавать гумус на питание растений, а может накапливать его в нижних горизонтах, расходуя свою энергию экономно. Способность мышц человека к напряжению зависит от наличия в них кальция, почва тоже «напрягается» или «расслабляется» в зависимости от присутствия этого элемента в верхних горизонтах. При его наличии частички гумуса делаются нерастворимыми и не вымываются в нижний горизонт. Почвенные микроорганизмы постепенно «распечатывают» гранулы гумуса; составляющие его минеральные соединения (в основном — соли азота и фосфора) расходуются на питание, и растительность бурно развивается. При отсутствии кальция частички гумуса растворяются и уносятся водой в нижний запасающий горизонт, а растения развиваются слабее. Почва с недостатком кальция не может быть плодородной, в нее вносят дополнительно кальцийсодержащие соединения.

Под Псковом расположены рядом два лесных участка с резко различающейся растительностью. На одном — дубрава и клеверный луг, на другом — еловый лес и скудная осока. Влияющий на плодородие почвы состав подпочвенных пород на границе участков резко меняется. Поэтому на одном участке — богатая кальцием известковая почва, на другом — бедные кальцием суглинки. Количество растительности и ее развитие зависит и от содержания в почве других химических элементов.

Взаимосвязью растительности и состава пород давно научились пользоваться геологи. На месторождениях угля и нефти растения обычно очень крупные. Там, где недра содержат железо, свинец, медь или радиоактивные руды, растительность всегда угнетенная. При избытке алюминия листья закручиваются, а медь делает розовые и желтые лепестки роз голубыми или даже черными. Розовые цветки иван-чая делаются на урановых рудах белыми или пурпурными. На месторождениях платины чернеет сосновая хвоя.

Среди всех биокосных систем биосферы почва имеет самую высокую концентрацию живых организмов. Экологи предполагают, что специфический запах земли обусловлен продуктами метаболизма микроорганизмов. В 1 см^3 лесной почвы — 10 млн бактерий, 200 тыс. водорослей, 20 тыс. простейших, общая длина грибницы — до 2 км, в 1 г чернозема — до 10 млрд бактерий. Все эти мелкие существа — основные труженики почвы, чутко реагирующие на присутствие посторонних химических веществ, поэтому так важно защищать природные биоценозы от загрязнения.



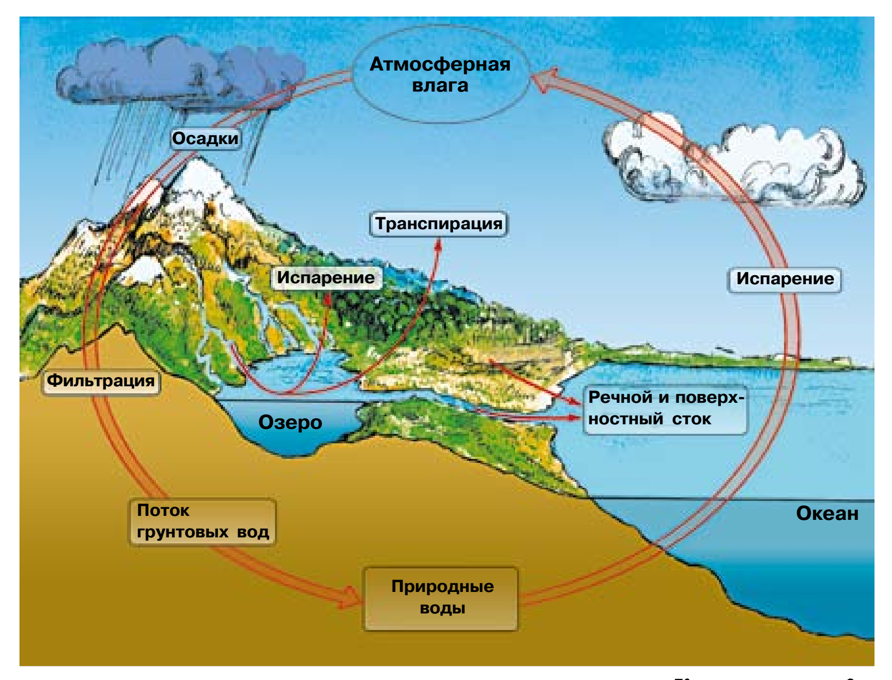
1. Назовите пять основных функций живого вещества.
2. Какова роль организмов в образовании осадочных пород?
3. Как формируется гумус, какова его функция?
4. Существует ли взаимосвязь между биоценозами и породами литосферы? Приведите примеры.

§ 73. Круговорот химических элементов в биосфере

Каждое животное или растение является звеном в цепях питания своей экосистемы, обменивается веществами с неживой природой, а следовательно — включено в круговорот веществ биосферы. Химические элементы в составе различных соединений циркулируют между живыми организмами, атмосферой и почвой, гидросферой и литосферой. Начавшись в одних экосистемах, круговорот заканчивается в других. Вся биомасса планеты участвует в круговороте веществ, это придает биосфере целостность и устойчивость. Живые организмы существенно влияют на перемещение и превращение многих соединений. В биологическом круговороте задействованы прежде всего элементы, входящие в состав органических веществ: C, N, S, P, O, H, а также ряд металлов (Fe, Ca, Mg и др.).

Циркуляция соединений осуществляется в основном за счет энергии Солнца. Зеленые растения, аккумулируя его энергию и потребляя из почвы минеральные соединения, синтезируют органические вещества, распространяющиеся в биосфере по цепям питания. Редуценты разрушают органические соединения растительного и животного происхождения до минеральных веществ, замыкая биологический цикл.

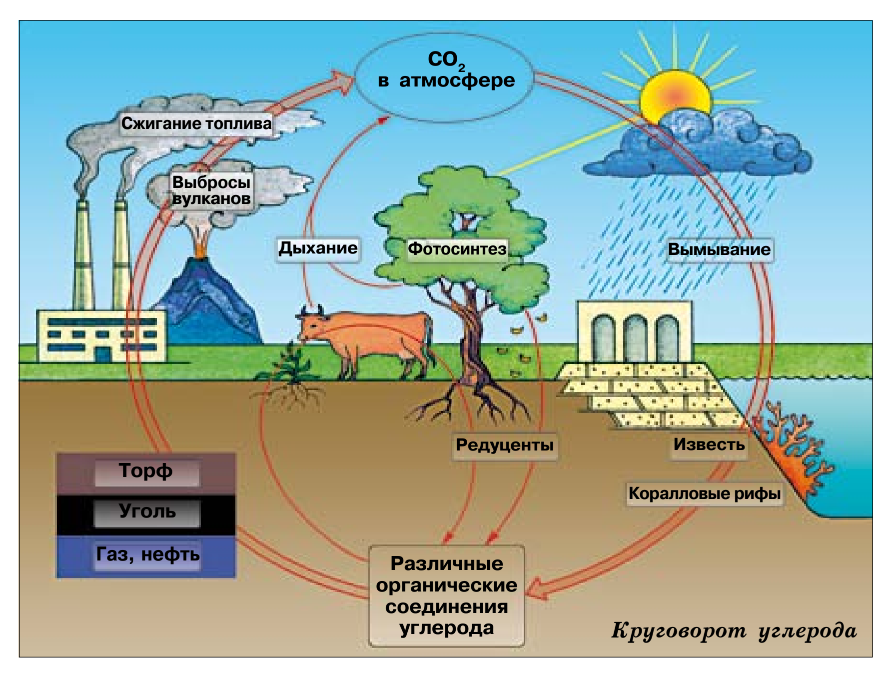
В верхних слоях океана и на поверхности суши преобладает образование органического вещества, а в почве и глубинах моря — его минерализация. Миграция птиц, рыб, насекомых способствует и переносу вещества. Существенно на круговорот элементов влияет деятельность человека.



Круговорот воды

Круговорот воды. Нагреваемые солнцем воды планеты испаряются. Выпадающая живительным дождем влага возвращается обратно в океан в качестве речных вод или очищенных фильтрацией грунтовых вод, перенося огромное количество неорганических и органических соединений. Живые организмы активно участвуют в круговороте воды, являющейся необходимым компонентом процессов метаболизма. На суше большая часть воды испаряется растениями, уменьшая водосток и препятствуя эрозии почвы. Поэтому при вырубке лесов поверхностный сток увеличивается сразу в несколько раз и вызывает интенсивный размыв почвенного покрова. Лес замедляет таяние снега, и талая вода, постепенно стекая, хорошо увлажняет поля. Уровень грунтовых вод повышается, а весенние наводнения редко бывают разрушительными.

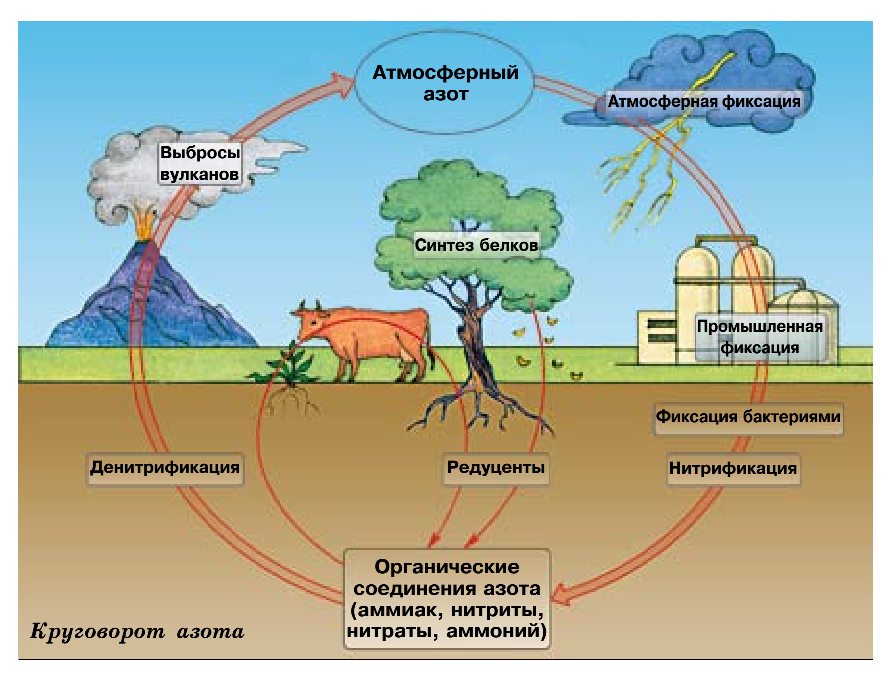
Тропические леса смягчают жаркий экваториальный климат, задерживая и постепенно испаряя воду. Испарение воды растениями называют *транспирацией* (<лат. trans через + spiro дышу). Вырубка тропических лесов вызывает в близлежащих районах засухи. Хищническое уничтожение лесов способно превратить в пустыни целые страны, как это и происходит в современной Африке. Круговорот воды, регулируемый растительностью, — важнейшее условие поддержания жизни на Земле.



Круговорот углерода

Круговорот углерода. В процессе фотосинтеза растения поглощают углерод в составе углекислого газа. Продуцируемые ими органические вещества содержат значительное количество углерода (более 50% углерода биосферы заключено в целлюлозе растений), распространяющегося в экосистемах по цепям питания. В процессе дыхания организмы выделяют углекислый газ. Органические остатки в море и на суше минерализуются редуцентами. Один из продуктов минерализации — углекислый газ — возвращается в атмосферу, замыкая цикл.

В течение 6—8 лет живые организмы пропускают через себя весь углерод атмосферы. Ежегодно в процесс фотосинтеза вовлекается до 50 млрд т углерода. Часть его накапливается в почве и на дне океанов — в известковых скелетах водорослей, моллюсков и коралловых рифов. Существенный запас углерода содержится в составе осадочных пород. На основе ископаемых растений и планктонных организмов сформированы месторождения каменного угля, органогенного известняка и торфа, природного газа и, как предполагается, нефти. Природное топливо при сгорании пополняет количество атмосферного углерода. Ежегодно содержание углерода в атмосфере увеличивается на 3 млрд т и может нарушить устойчивость биосферы. Если темп прироста сохранится, то интенсивное таяние полярных льдов, вызванное парниковым эффектом углекислого газа (с. 233), приведет к затоплению обширных прибрежных территорий по всему миру.



Круговорот азота

Круговорот азота. Азот, как и углерод, входит в состав органических соединений (белков, нуклеиновых кислот), поэтому круговороты этих элементов тесно связаны. Главный источник азота — воздух атмосферы; усваивать азот из атмосферы способны только азотфиксирующие бактерии, например клубеньковые (100—300 кг/га азота в год) или цианобактерии (15—30 кг/га). Фиксированный бактериями азот поступает в почву и воду в виде аммиака и ионов аммония. Нитрифицирующие бактерии преобразуют аммиак в нитриты и нитраты. Растения поглощают соединения азота из почвы и синтезируют органические вещества, распространяющиеся по цепям питания вплоть до редуцентов, разлагающих белки с выделением аммиака. Денитрифицирующие бактерии восстанавливают азот до свободных молекул N_2, возвращающихся в атмосферу. Аналогичная циркуляция азота происходит между бентосом и планктоном.

Небольшое количество азота фиксируется в виде оксидов молниевыми разрядами и попадает в почву с атмосферными осадками, а также поступает от вулканической деятельности, компенсируя убыль в глубоководные отложения. Азот поступает в почву и в виде удобрений после промышленной фиксации из воздуха атмосферы.

Круговорот азота — более замкнутый цикл, нежели круговорот углерода. Лишь незначительное его количество вымывается реками или уходит в атмосферу, покидая границы экосистем.

Круговорот серы. Сера входит в состав ряда аминокислот, белков и липидов. Соединения серы поступают в круговорот в основном в виде сульфидов из продуктов выветривания пород суши и морского дна. Ряд микроорганизмов (например, хемосинтезирующие бактерии) способны переводить сульфиды в доступную для растений форму — сульфаты. Растения и животные отмирают, минерализация их остатков редуцентами возвращает соединения серы в почву. Так, серобактерии окисляют до сульфатов образующийся при разложении белков сероводород. Сульфаты способствуют переводу труднорастворимых соединений фосфора в растворимые. Количество минеральных соединений, доступных растениям, возрастает, улучшаются условия для их питания.

Ресурсы серосодержащих ископаемых весьма значительны, а избыток этого элемента в атмосфере, приводящий к кислотным дождям, уже беспокоит ученых. Количество серы в атмосфере существенно увеличивается при сжигании природного топлива.

Круговорот фосфора. Этот элемент содержится в фосфолипидах, нуклеиновых кислотах, АТФ. Его круговорот начинается вымыванием фосфосодержащих соединений из горных пород и поступлением их в почву. Часть фосфора уносится в реки и моря, другая — усваивается растениями. Биогенный круговорот фосфора происходит по общей схеме: продуценты → консументы → редуценты.

Значительные количества фосфора вносятся на поля с удобрениями. Около 60 тыс. т фосфора ежегодно возвращается на материк с выловом рыбы. В белковом рационе человека рыба составляет от 20 до 80 %, некоторые малоценные сорта рыб перерабатываются на удобрения, богатые полезными элементами, в т. ч. фосфором.

Ежегодно добывается 1—2 млн т. фосфосодержащих руд. Ресурсы фосфосодержащих руд пока велики, но в будущем человечеству, вероятно, придется решать проблему возвращения фосфора в биогенный круговорот.

Природные ресурсы. Возможность нашей жизни, ее условия находятся в зависимости от природных ресурсов. Биологические и особенно пищевые ресурсы служат материальной основой жизни. Минеральные и энергетические ресурсы, включаясь в производство, служат основой стабильного уровня жизни.

Ресурсы принято делить на неисчерпаемые и исчерпаемые. Энергия Солнца и ветра, атмосферный воздух и вода практически неисчерпаемы. Однако при современном неэкологичном промышленном производстве воду и воздух можно лишь условно считать неисчерпаемыми ресурсами. Во многих районах в связи с загрязнением возник дефицит чистой воды и воздуха. Для того чтобы эти ресурсы оставались неисчерпаемыми, необходимо бережное отношение к природе.

Исчерпаемые ресурсы делят на невозобновляемые и возобновляемые. К невозобновляемым относятся утраченные виды животных и растений, большинство полезных ископаемых. Возобновляемыми ресурсами являются древесина, рыбы и промысловые животные, растения, а также некоторые полезные ископаемые, например торф.

Интенсивно потребляя природные ресурсы, человеку необходимо сохранять природное равновесие. Сбалансированность ресурсов в круговороте веществ определяет устойчивость биосферы.



1. Каким образом живые организмы участвуют в круговороте веществ? Где преобладает образование органического вещества, где происходит его минерализация?
2. Опишите круговорот воды. Какова роль лесов в его регуляции?
3. Как происходит круговорот углерода? Можно ли исключить из круговорота растения?
4. В чем особенности круговоротов азота, серы, фосфора?
5. Какие ресурсы требуют особенно бережного отношения?

§ 74. Глобальные экологические проблемы

Около 10—15 % поверхности суши распахано, 25 % представляют собой полностью или частично окультуренные пастбища. Если к этому добавить 3—5 % поверхности, занятой транспортной сетью, промышленностью, зданиями и сооружениями, и около 1—2 % территории Земли, поврежденной разработками полезных ископаемых, то окажется, что почти половина поверхности суши видоизменена деятельностью человека.

С развитием цивилизации ее негативный вклад в биосферные круговороты увеличивается. На каждую тонну промышленной продукции приходится 20—50 т отходов. На каждого человека в крупных городах приходится более 1 т пищевого и бытового мусора в год. Дисгармония в биосфере отражается как на растительном и животном мире, так и на здоровье людей. Множество загрязняющих веществ, попадая в почву, атмосферу и водоемы, накапливаются в тканях растений и животных и через пищевые цепи заражают организм человека. Токсичные соединения способны заметно увеличивать количество мутаций, приводящих к врожденным наследственным отклонениям и раковым заболеваниям. Сопоставление данных по различным регионам планеты привело ученых к выводу, что не менее 80 % раковых заболеваний вызваны химическим загрязнением среды.

Загрязнение атмосферы в основном происходит от сжигания природного топлива транспортом, коммунальным хозяйством, промышленностью. В городах на долю транспорта приходится более 60 % загрязняющих веществ, на предприятия теплоэнергетики — около 15 %, на промышленные и строительные предприятия — 25 % выбросов. Основные загрязнители воздуха — оксиды серы, азота, метан и угарный газ. У растений загрязнение атмосферы ведет к серьезным нарушениям метаболизма и различным заболеваниям. От сернистого газа разрушается хлорофилл и затрудняется развитие пыльцевых зерен, высыхают и опадают листья и хвоя. Не менее пагубно воздействие и других загрязняющих веществ.

Ежегодно в атмосферу выбрасывается около 100 млн т оксидов серы, более 70 млн т оксидов азота, 180 млн т угарного газа.

Кислотные осадки. Высокая концентрация загрязняющих веществ приводит к образованию кислотных дождей и смога. Кислотные осадки (дождь, снег, туман) образуются при растворении в воде диоксидов серы и азота (SO_2, NO_2). Кислые осадки повреждают верхний защитный слой растительности, вымывают из листьев белки, аминокислоты, сахар, калий. Растворы кислот создают в почве кислую среду, вызывают вымывание гумуса, снижая количество жизненно важных солей кальция, калия, магния. Кислые почвы бедны микроорганизмами, в них замедляется скорость деструкции опада; сокращение численности редуцентов нарушает сбалансированность экосистем.

Кислотные дожди уничтожают громадные экосистемы, вызывают гибель растений и лесов, превращают озера и реки в безжизненные водоемы. В США за последние 100 лет кислотные дожди стали в 40 раз более кислыми, около 200 озер остались без рыбы, в Швеции 20 % озер находятся в катастрофическом состоянии. Более 70 % шведских кислых дождей вызвано выбросами других стран. Около 20 % кислотных дождей в Европе — следствие выбросов окислов серы в Северной Америке.

Смог. В нижних слоях атмосферы под действием солнечного света загрязняющие вещества образуют крайне вредные для живых организмов соединения, наблюдаемые как туман. В больших городах количество солнечного света из-за смога уменьшается на 10—15 %, ультрафиолетовых лучей — на 30 %.

Озоновые дыры. В атмосфере на высоте 20—25 км расположено большое количество молекул озона (O_3), поглощающего жесткую часть солнечного спектра, губительную для живых организмов. В 1982 г. ученые обнаружили дыру в озоновом слое над Антарктидой, в 1987 г. — над Северным полюсом, начали возникать дыры и над обитаемой частью земного шара. Это может привести к всплеску заболеваний раком кожи, катарактой, к нарушениям лесных и морских экосистем.

Ученые предполагают, что главной причиной возникновения озоновых дыр является накопление фреонов (хлорфторуглеродов $CFCl_3$, CF_2Cl_2), используемых при изготовлении аэрозолей и в холодильной промышленности. Эти газы сохраняются в атмосфере десятилетиями. Попадая в стратосферу, они разлагаются солнечной радиацией с образованием атомов хлора, катализирующих превращение озона в кислород.

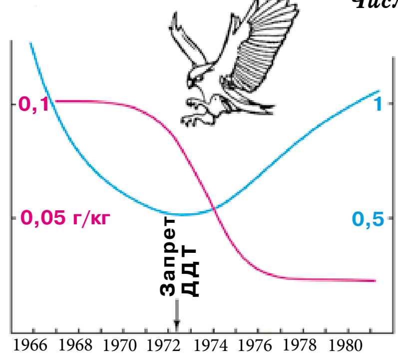
Парниковый эффект. Некоторые атмосферные газы прозрачны для видимого света, но поглощают тепловое излучение планеты, вызывая этим общее потепление (если их нет — тепловое излучение уходит в космос). Парниковый эффект на 50 % обусловлен присутствием углекислого газа, 18 % вносит метан и 14 % — фреоны. Увеличение количества CO_2 в атмосфере вызвано в основном сжиганием топлива и сведением (выжиганием) лесов под распашку, а также интенсивной минерализацией гумуса обширных пахотных земель. Метан поступает в атмосферу из болотистых районов, от переувлажненных почв рисовых плантаций, от многочисленных скотоводческих хозяйств (метан — один из основных продуктов метаболизма жвачных), при вскрытии угольных месторождений.

В XX в. количество CO_2 в атмосфере выросло на 25 %, а метана — на 100 %, что повысило среднюю температуру на 0,5 °С. При такой тенденции в ближайшие 50 лет средняя температура может подняться на 3—5 °С. Расчеты показывают, что таяние полярных льдов приведет к повышению уровня мирового океана на 0,5—1,5 м. В Египте окажутся затопленными 20—30 % плодородных земель дельты Нила, под угрозой окажутся прибрежные селения и крупные города Китая, Индии, Европы и США. Общее количество осадков увеличится, но в центральных частях материков климат может стать более засушливым и пагубным для урожая, прежде всего зерновых и риса (а для 60 % населения Азии рис — основной продукт).

Таким образом, даже небольшие изменения в газовом составе атмосферы негативно сказываются на биосферных процессах.

Нарушения в гидросфере. Крупномасштабные ошибки в сельскохозяйственной деятельности привели к разрушению многих природных экосистем. Отвод стоков Амударьи и Сырдарьи под орошение хлопковых плантаций стал причиной катастрофического падения уровня Аральского моря. Пыльные бури в его высыхающем ложе вызвали засоление почв на огромных территориях. Деградация биогеоценозов Приаралья — результат недостатка воды и опустынивания.

Хищнический забор воды на орошение, на нужды промышленности (на производство 1 т никеля уходит 4 000 м^3 воды, 1 т бумаги — 100 м^3, 1 т синтетического волокна — до 5 000 м^3), уничтожение водоохранных лесов и осушение болот привели



Численность потомства белоголового орла-на (Канада) и содержание ДДТ в яйцах

к массовому исчезновению рек. Если в 1785 г. в районе Калуги было несколько тысяч рек, то в 1990 г. их осталось всего 200.

Экосистемы рек очень чувствительны и уязвимы. Огромное количество удобрений, смываемых с полей, отходов животноводства и канализационных вод вызывает рост концентрации в водоемах соединений азота и фосфора. В водных экосистемах с повышением уровня эвтрофикации (см. с. 302) начинается бурное развитие цианобактерий, вытесняющих необходимые зоопланктону диатомовые водоросли. Рыбы гибнут от голода. Цианобактерии накапливаются на дне и гниют (разлагаются бактериями), отравляя воду и истощая запасы кислорода. Живописные водоемы превращаются в дурно пахнущие, покрытые тиной и пеной сточные канавы. Если вода не отравлена, то на каждом квадратном метре насчитывается до 15 моллюсков, каждый из которых за сутки тщательно фильтрует до 50 л воды. Эти существа гибнут с поступлением в водоемы посторонних химических веществ. Самыми устойчивыми к загрязнению воды являются пиявки и личинки стрекоз, а в морях — асцидии.

Составные части биосферы взаимосвязаны круговоротом веществ и пищевыми цепями, нарушение одной экосистемы вызывает смещение экологического равновесия в других. Когда в северном полушарии насекомых стали травить ДДТ, вскоре значительные количества этого яда обнаружили в организмах арктических тюленей и антарктических пингвинов, получивших его с рыбой. Многие ядохимикаты очень устойчивы и способны длительное время накапливаться в тканях организмов, многократно умножаясь на каждом следующем пищевом уровне.

Вследствие неразумной хозяйственной деятельности человека природные водоемы оказались отравленными солями тяжелых металлов: ртути, свинца, кадмия, а также меди и цинка. Эти соединения накапливаются в иле, в тканях рыб, а через пищевые цепи попадают в организм человека, вызывая тяжелейшие отравления. Содержание свинца в организмах жителей индустриальных районов США за последние 100 лет возросло в 50—1 000 раз. Даже в ледниках Памиро-Алая содержание ртути увеличилось в пять раз. Ничтожные количества многих химикатов нарушают поведение рыб, омаров и других водных видов. На этих признаках основана регистрация минимальных кон-

центраций меди, ртути, кадмия, фенолов. Один из самых распространенных пестицидов токсафен при объемном содержании 10^{-6} % вызывает гибель некоторых рыб (например, гамбузий), необратимые изменения в печени и жабрах сомов и форели.

Утечка нефти при добыче и транспортировке приводит к образованию на поверхности рек и морей нефтяной пленки (более 40 % всей нефти добывается на шельфе). По наблюдениям со спутников, загрязнено около 10—15 % поверхности мирового океана. Нефть с поверхности постепенно испаряется и разлагается бактериями, но это происходит медленно. Гибнет множество водных птиц, уничтожается планктон, а вслед за ним и его основные потребители — обитатели морских глубин (в т. ч. бентос). «Бентическая пустыня» в Балтийском море охватывает более 20 % поверхности дна. В Средиземном море в результате стока промышленных вод уже погибло 80 % некогда обитавшей там рыбы.

Массовую гибель рыб вызвало строительство плотин электростанций. Рыба проплывает на нерест сотни и тысячи километров, находит родную речку, а она оказывается перегороженной. Рыба мечется, выбрасывается на берег и погибает. Перегораживаются реки — исчезает рыба. Когда Волга текла свободно, вода проходила путь от верховья до устья за 50 дней, теперь — за 2 года. Вода заиливается, загнивает, в ней быстро размножаются паразиты, уничтожающие ослабленную рыбу. Не менее пагубным по своим последствиям может стать поворот северных рек.

Интенсивная добыча рыбы и моллюсков истощила многие шельфовые экосистемы.

Разрушение почв. Обширная распашка степей в нашей стране и США стала причиной пыльных бурь, унесших миллионы гектаров плодороднейших земель. Для воссоздания сантиметрового слоя почвы природе требуется 100—300 лет! В настоящее время около 1/3 обрабатываемых угодий утратили 50 % плодородного слоя из-за различных видов эрозии. Ежегодно из-за эрозии теряется около 3 млн га, по причине опустынивания — 2 млн га, вследствие отравления химическими веществами — 2 млн га. За время существования цивилизации человечество потеряло около 2 млрд га плодородных земель.

Почвы многих сельскохозяйственных районов оказались засоленными. В Приаралье это произошло в результате пыльных соляных бурь, в других районах — от неправильной организации стока оросительных вод. Избыток воды вызывает подъем к поверхности богатых солями грунтовых вод. Интенсивное испарение производит засоление верхних горизонтов почвы, и через несколько лет на таких землях становится невозможным выращивать сельскохозяйственные культуры. Засоление почвы еще 4000 лет назад привело к упадку сельского хозяйства в Месопотамии. Ирригационные воды сначала обеспечивали там

Количество видов высших растений, исчезнувших за последние 200 лет

Страна	Число исчезнувших видов	Доля от общего количества
Гавайские острова	255 — 270	около 11,6 %
Континентальная часть США	около 100	около 5,0 %
Германия	87 — 141	4 — 7,1 %
Нидерланды	50 — 75	около 4,0 %
Бельгия	62	4,8 %
Швеция (с 1850 г.)	37	2,3 %
Франция (с 1930 г.)	40	около 1,0 %

хорошие урожаи, но вследствие интенсивного испарения вызвали химическую деградацию почвы.

Большая проблема связана и с физической деградацией обрабатываемых земель — сильным уплотнением тяжелыми сельскохозяйственными машинами.

Утрата природного разнообразия видов. Значительная часть животных и растений обитает в лесных биоценозах. Если 1500 лет назад леса занимали 7 млрд га планеты, то сегодня — не более 4 млрд га. Особенно варварски идет вырубка тропических лесов, в которых сосредоточено около 80 % всех видов растений планеты. Тропические леса расположены в основном в слаборазвитых странах, для которых продажа древесины — один из основных источников дохода. Леса в тропиках сократились до 7 % территории суши, и если темпы их уничтожения сохранятся, то к 2030 г. останется лишь 2 %.

В Центральной России практически уничтожены вековые хвойные леса, интенсивно вырубаются самые ценные и наиболее доступные для техники лесные массивы Сибири и Дальнего Востока. С уничтожением лесов нарушается климат, деградируют почвы, исчезают реки, умирают животные и растения.

Уникальный лес в бассейне Амазонки вырубают на 2 % в год. В Гаити еще 20 лет назад леса занимали 80 % территории, сегодня — только 9 %. Из-за хищнической вырубки каждый год безвозвратно исчезают тысячи видов растений, на грани исчезновения находятся около 20 тыс. видов цветковых, 300 видов

Количество видов позвоночных, исчезнувших с 1600 г.

Причина	Амфибии	Рептилии	Птицы	Млекопитающие	Все группы
Добывание	0	7	21	14	42
Разрушение местообитаний	1	1	22	12	36
Влияние вселенных видов	0	8	24	13	45

млекопитающих, 350 видов птиц. С исчезновением каждого вида растений вымирает от 5 до 35 видов животных (в основном беспозвоночных), экологически с ним связанных. И даже если вид не исчез полностью, интенсивное сокращение его численности приводит к эрозии генофонда, а значит, нарушает целостность вида, снижает его приспосабливаемость.

Ежегодно в Европе уничтожается около 300 млн мигрирующих и зимующих птиц, 55 млн особей болотной, полевой и лесной дичи, в США — 2,5 млн траурных голубей, в Греции — 3 млн скворцов, на о. Майорка — 3,5 млн дроздов.

С развитием сельского хозяйства почти полностью исчезли степи в Европе. Варварски разрушаются экосистемы тундры. Во многих районах океана находятся под угрозой исчезновения коралловые рифы.

Видовое разнообразие — это не только красота, но и необходимый фактор устойчивости биосферы. Экосистемы способны противостоять внешним биотическим, климатическим, токсическим воздействиям, если населены достаточно большим количеством разнообразных видов. В одном из исследований ученые вносили в экосистемы ядовитое вещество фенол. Нейтрализуют фенол только бактерии, но оказалось, что нейтрализация эффективнее совершается в экосистемах с большим разнообразием организмов. Исчезновение видов — это невосполнимая потеря для биосферы и реальная опасность для выживания человечества.

Разнообразие растительности расширяет возможности для поддержания здоровья. Огромное количество лекарств сегодня производится из дикорастущих растений. Мы еще не знаем всех полезных качеств растений, не можем предположить, какие из них нам понадобятся. В 1960 г. выживали только 20 % детей, больных лейкемией, сегодня — 80 %, т. к. в одном из лесных тропических растений Мадагаскара ученым удалось найти активные вещества для борьбы с этой болезнью. Теряя видовое разнообразие, мы теряем свое будущее.

Радиоактивное заражение атмосферы. Радиоактивные частицы в атмосферных потоках быстро распространяются на большие расстояния, заражая почву и водоемы, растения и животных. Через четыре месяца после каждого ядерного взрыва на атоллах Тихого океана радиоактивный стронций обнаруживался в молоке европейских женщин.

Радиоактивные изотопы особенно опасны тем, что способны замещать в организмах другие элементы. Стронций-90 по свойствам близок к кальцию и накапливается в костях, цезий-137 сходен с калием и концентрируется в мышцах. Особенно много радиоактивных элементов накапливается в организмах консументов, потреблявших зараженные растения и животных. Так, в организмах эскимосов Аляски, питавшихся мясом оленей, было

обнаружено повышенное содержание цезия-137. Олени питаются лишайниками, накапливающими за свою продолжительную жизнь значительные количества радиоактивных изотопов. Их содержание в лишайниках в тысячи раз превышает почвенное. В тканях оленей это количество возрастает еще втрое, а в организмах эскимосов радиоактивного цезия оказывается вдвое больше, чем у оленей. Смертность населения некоторых арктических районов от злокачественных образований заметно выше средней.

Особенно долго сохраняется радиация после аварий на АЭС. Во время Чернобыльской катастрофы радиоактивные частицы поднялись на высоту 6 км. Атмосферными потоками они в первый же день распространились над Украиной и Белоруссией. Затем облако разделилось, одна его часть на второй-четвертый день оказалась над Польшей и Швецией, к концу недели пересекла Европу и на 10-й день достигла Турции, Ливана и Сирии. Другая часть облака за неделю пересекла Сибирь, на 12-й день оказалась над Японией, и на 18-й день достигла Северной Америки. После аварии частота заболеваний раком щитовидной железы возросла, например, в Гомельской области в 20 раз.

Изучение биосферных процессов помогает понять важность каждой частички сотворенного мира и осознать болезненное состояние разума современного человека. На Западе, а теперь и в России преобладает стремление к комфортному образу жизни как наивысшему благу. Что же такое, например, Америка глазами эколога? Это 5,5 % населения планеты, 40 % потребления природных ресурсов и 70 % вредных выбросов! Такова цена роскошной жизни за счет других народов и будущего планеты.

Пришло время трезво отнестись к желанию все больших материальных благ и понять, что стратегия потребительского общества ведет нас к катастрофе. Если в ближайшие десятилетия мы не перейдем к истинным духовным ориентирам, то нашим потомкам достанется проблема выживания. Мы должны вспомнить о бережном отношении друг к другу и к нашей родной планете — бесценному богатству, вверенному нам Создателем. Президент РАН Ю. С. Осипов выражает надежду, что «союз науки и христианства поможет преодолеть трудный период экологического и нравственно-этического кризиса, в котором оказалась современная цивилизация».



1. Опишите четыре основных следствия загрязнения атмосферы. Как распространяются загрязняющие вещества?
2. Чем опасно ирригационное земледелие?
3. Каковы негативные последствия избытка удобрений?
4. Почему ученые считают опасным для человека сокращение видового многообразия экосистем?
5. С чего необходимо начать оздоровление планеты?

Из Книги Бытия (о сотворении мира)

В начале сотворил Бог небо и землю. Земля же была безвидна и пуста, и тьма над бездною; и Дух Божий носился над водою. И сказал Бог: да будет свет. И стал свет. И увидел Бог свет, что он хорош; и отделил Бог свет от тьмы. И назвал Бог свет днем, а тьму ночью. И был вечер, и было утро: день один.

И сказал Бог: да будет твердь посреди воды, и да отделяет она воду от воды. И создал Бог твердь; и отделил воду, которая под твердью, от воды, которая над твердью. И стало так. И назвал Бог твердь небом. И был вечер, и было утро: день второй.

И сказал Бог: да соберется вода, которая под небом, в одно место, и да явится суша. И стало так. И назвал Бог сушу землею, а собрание вод назвал морями. И увидел Бог, что *это* хорошо. И сказал Бог: да произрастит земля зелень, траву, сеющую семя, дерево плодовитое, приносящее по роду своему плод, в котором семя его на земле. И стало так. И произвела земля зелень, траву, сеющую семя по роду ее, и дерево, приносящее плод, в котором семя его по роду его. И увидел Бог, что *это* хорошо. И был вечер, и было утро: день третий.

И сказал Бог: да будут светила на тверди небесной, для отделения дня от ночи, и для знамений, и времен, и дней, и годов; и да будут они светильниками на тверди небесной, чтобы светить на землю. И стало так. И создал Бог два светила великие: светило большее, для управления днем, и светило меньшее, для управления ночью, и звезды; и поставил их Бог на тверди небесной, чтобы светить на землю, и управлять днем и ночью, и отделять свет от тьмы. И увидел Бог, что *это* хорошо. И был вечер, и было утро: день четвертый.

И сказал Бог: да произведет вода пресмыкающихся, душу живую; и птицы да полетят над землею, по тверди небесной. И сотворил Бог рыб больших и всякую душу животных пресмыкающихся, которых произвела вода, по роду их, и всякую птицу пернатую по роду ее. И увидел Бог, что *это* хорошо. И благословил их Бог, говоря: плодитесь и размножайтесь, и наполняйте воды в морях, и птицы да размножаются на земле. И был вечер, и было утро: день пятый.

И сказал Бог: да произведет земля душу живую по роду ее, скотов, и гадов, и зверей земных по роду их. И стало так. И создал Бог зверей земных по роду их, и скот по роду его, и всех гадов земных по роду их. И увидел Бог, что *это* хорошо.

И сказал Бог: сотворим человека по образу Нашему, по подобию Нашему; и да владычествуют они над рыбами морскими, и над птицами небесными, и над скотом, и над всею землею, и над всеми гадами, пресмыкающимися по земле. И сотворил Бог человека по образу Своему, по образу Божию сотворил его; мужчину и женщину сотворил их. И благословил их Бог, и сказал им Бог: плодитесь и размножайтесь, и наполняйте землю, и обладайте ею, и владычествуйте над рыбами морскими, и над птицами небесными, и над всяким животным, пресмыкающимся по земле.

И сказал Бог: вот, Я дал вам всякую траву, сеющую семя, какая есть на всей земле, и всякое дерево, у которого плод древесный, сеющий семя: вам сие будет в пищу; а всем зверям земным, и всем птицам небесным, и всякому пресмыкающемуся по земле, в котором душа живая, *дал* Я всю зелень травную в пищу. И стало так.

И увидел Бог все, что Он создал, и вот, хорошо весьма. И был вечер, и было утро: день шестой.

Святые отцы о сотворении мира

Святитель Афанасий Великий: «Каждая из звезд и каждое из великих светил явились не так, чтобы одно было первым, а иное вторым... из тварей ни одна другой не предшествовала, но все созданное произведено вдруг в совокупности одним и тем же повелением. Так положено начало бытию четвероногих, птиц, рыб, скотов и растений».

«Каждая созданная вещь по роду, в собственной сущности своей, какою сотворена, такою есть и пребывает».

Святитель Василий Великий: «И бысть вечер, и бысть утро, день един. Почему назван не первым, но единым?.. Определяет сим меру дня и ночи, и совокупляет в одно суточное время, потому что *двадцать четыре часа* наполняют продолжение одного дня».

«Природа существ, подвигнутая одним повелением, равномерно проходит и рождающуюся и разрушающуюся тварь, сохраняя последовательность родов посредством уподобления, пока не достигнет самого конца; ибо коня она делает преемником коню, льва — льву, орла — орлу, и каждое животное, *сохраняемое в следующих преемствах*, продолжает до скончания Вселенной. Никакое время не повреждает и не истребляет свойств животных. Напротив того, природа их, как недавно созданная, протекает вместе со временем».

«*Да произрастит земля.* Краткое сие повеление тотчас стало великою природою и художественным образом, быстрее нашей мысли произведя бесчисленные множества растений».

«Вышло повеление, и тотчас реки производят и озера рождают свойственные себе и естественные породы; и море чревоболезнует всякого рода плавающими животными. Где только ни была вода, в болотах и тенистых местах, — она не остается бездейственною и не участвующей в размножении тварей. Ибо нет сомнения, что из воды воскипели жабы, мошки и комары».

Святитель Григорий Нисский: «Все увенчалось свежею травою и разнообразною прелестью деревьев, которые только что вышли из земли, но сразу же достигли совершенной красоты».

Святитель Иоанн Златоуст: «*И бысть вечер, и бысть утро, день четвертый.* Смотри, как Он говорит это о каждом дне, чтоб частым повторением укрепить в нашем сердце Божественные догматы».

«Солнце Бог потому и создал в четвертый день, чтобы не подумал ты, будто оно производит день. То же самое можно сказать и о меньшем из светил, то есть Луне: прошло *три ночи* до ее сотворения».

«Бог произвел всех животных без соединения, без совокупления».

«Во мгновение ока сотворил Он всех скотов и зверей — и льва, и медведя, и дракона, и быка, и коня, и сколько других полезных и годных на служение людям! Такова мудрость Создателя! Все сотворил Он в шесть дней: свет, небо, землю, море, солнце, луну, звезды, горы, морских и земных животных».

Преподобный Ефрем Сирин: «Ибо хотя и свет, и облака сотворены во мгновение ока, но как день, так и ночь первого дня продолжались *по двенадцати часов*».

«Никто не должен думать, что шестидневное творение есть иносказание; непозволительно также говорить, будто бы, что по описанию сотворено в продолжение шести дней, то сотворено в одно мгновенье, а также будто бы в описании сем представлены одни наименования, или же ничего не означающие, или обозначающие нечто иное... Так и сказанное о всем прочем, что сотворено и приведено в устройство... заключает в себе не пустые наименования, но силе сих наименований соответствует самая сущность сотворенных естеств».

«Растения во время сотворения своего были порождения одного мгновения, но по виду казались порождениями месяцев и годов», а «животные, птицы и человек были вместе стары и молоды, стары — по виду, молоды — по времени своего сотворения».

«Сии способы ведения *пять тысяч лет* или несколько меньше, или свыше сего управляли миром, и человек нисколько не мог поднять главы своей и осознать силу Творца своего, пока не возсияла вера наша».

Святитель Амвросий Медиоланский: «Он (Моисей) не предвосхищал запоздалого и медлительного творения из стечения атомов», а «хотел выразить *непостижимую скорость деяния*».

«Божие Слово проницает всякую тварь в составе мира. Следовательно, как предопределил Бог, все роды живых существ были быстро произведены из земли. Согласно фиксированному закону, все они следуют друг за другом из века в век в соответствии с их внешним видом и природой. Лев рождает льва, тигр — тигра,

бык — быка, лебедь — лебедя, а орел — орла. Однажды приказанное стало во всей Вселенной обыкновением на все времена. С этих пор земля не прекратила приносить дань своего служения. Начальный вид живых существ воспроизведен на будущее время последующими поколениями данной природы».

«Кит, так же как и лягушка пришел в бытие в одно и то же время одной и той же творческой силой».

Блаженный Августин: «*И бысть вечер и бысть утро, день един* (Быт. 1:5). — В настоящем случае день называется не так, как назывался он, когда говорилось: *И нарече Бог день,* а так, как например, мы говорим: «30 дней составляют месяц»; в этом случае в число дней мы включаем и ночи, между тем, выше день назван отдельно от ночи. Итак, после того, как сказано уже о произведении дня посредством света, благовременно было сказать и о том, что явился вечер и утро, то есть один день».

Преподобный Иоанн Дамаскин: «От начала дня до начала другого дня — *одни сутки*, ибо Писание говорит: *И бысть вечер, и бысть утро, день един* (Быт. 1:5)».

Святитель Димитрий Ростовский так рассуждает о днях творения: «... И во второй день, называемый нами ныне понедельником произвел всесильным Своим словом небеса... В третий день, называемый нами вторником... В шестой, соответствующий нашей пятнице...»

Святитель Филарет Московский: «Шесть дней творения не означают собственно... такого продолжения времени, в которое бы вещи, по законам только природы, образовались и раскрылись из сотворенных вначале неба и земли».

Праведный Иоанн Кронштадтский: «Всякая рыба и птица, и всякий гад, какими были *несколько тысяч лет назад,* такими и остаются ныне с теми свойствами, какие получили они от Творца в начале».

«Письмена слова Божия вернее и яснее говорят о мире, чем самый мир или расположение слоев земных: письмена природы внутри ея как мертвые и безгласные ничего определенного не выражают. *Где был еси человече, егда основах землю?* (Иов. 38:4) *Разве ты был при Боге, когда Он устроял Вселенную? Кто уразуме ум Господень, и кто советник Ему бысть?* (Ис. 40:13).

А вы, геологи, хвалитесь, что уразумели в построении слоев земли ум Господень и утверждаете это наперекор Священному Бытописанию! Вы более верите мертвым буквам слоев земных, бездушной земле, чем вдохновенным словам великого пророка и боговидца Моисея».

«Он говорит, и слово Его тотчас же становится многовидным и многоразличным бытием».

«Недоучки и переучки не верят в личного, праведного, всемогущего и безначального Бога, а верят в безличное начало и в какую-то эволюцию мира и всех существ... В ослеплении они доходят до безумия, отрицают самое бытие Божие и утверждают, что все происходит через слепую эволюцию. Но у кого есть разум, тот не поверит таким безумным бредням».

О сотворении первого человека без порождения его земным существом

Святитель Иоанн Златоуст: «Если же враги истины будут настаивать на том, что невозможно произвести что-нибудь из несуществующего, то мы спросим их... первый человек создан из земли или из чего-нибудь другого? Без сомнения, они согласятся с нами и скажут, что из земли. Так пусть же они скажут нам, как из земли образовалась плоть? Из земли может быть грязь, кирпич, глина, черепица: но как произошла плоть? Как кости, жилы, нервы, жир, кожа, ногти, волосы? Как из одного наличного вещества столько разнокачественных вещей? На это они и уст открыть не могут».

«Бог берет не просто землю, но *персть*, тончайшую, так сказать, часть земли, и эту самую персть от земли Своим повелением превращает в тело».

«Он в самом творении наперед указал надежду воскресения. Он берет персть от земли, дабы ты, когда увидишь в гробу прах, знал, что Тот, Кто создал то, воскресит и это».

Святитель Василий Великий: «Первый Адам получил бытие не от сочетания мужа и жены, но образован из земли; и последний Адам, обновляющий поврежденное первым, приял тело, образовавшееся в девичьей утробе, чтобы через плоть быть в подобии плоти греха (Рим. 8:3)».

Святитель Григорий Нисский: «Авель явился в бытие через порождение, Адам это сделал без порождения».

«Первый человек и происшедший из него получили бытие, каждый различно: один от сочетавшихся родителей, другой от создавшего Христа».

Святитель Кирилл Иерусалимский: «Хотя рождение тел от тел и чудесно, но, впрочем, возможно. А что персть земная сделалась человеком, это чудеснее».

Преподобный Серафим Саровский: «Адам сотворен был до того не подлежащим действию ни одной из сотворенных Богом стихий, что его ни вода не топила, ни огонь не жег, ни земля не могла пожрать в пропастех своих, ни воздух не мог повредить каким бы то ни было своим действием. Все покорено было ему как любимцу Божию, как царю и обладателю твари. И все любовались на него как на всесовершенный венец творений Божиих. От этого-то дыхания жизни, вдохнутого в лице Адамово из Всетворческих Уст Всетворца и Вседержителя Бога, Адам до того преумудрился, что не было никогда от века, нет, да и едва ли будет когда-нибудь на земле человек премудрее и многознательнее его».

«Такую же премудрость, и силу, и всемогущество, и все прочие благие и святые качества Господь даровал и Еве, сотворив ее не от персти земной, а от ребра Адамова в Едеме сладости, в раю, насажденном Им посреди земли.

Для того чтобы они могли удобно и всегда поддерживать в себе бессмертные, Богоблагодатные и всесовершенные свойства сего дыхания жизни, Бог посадил посреди рая Древо жизни, в плодах которого заключил всю сущность и полноту даров этого Божественного Своего дыхания. Если бы не согрешили, то Адам и Ева сами и все их потомство могли бы всегда, пользуясь вкушением от плода Древа жизни, поддерживать в себе вечно животворящую силу благодати Божией и бессмертную, вечно юную полноту сил плоти, души и духа и непрестанную нестареемость бесконечно бессмертного всеблаженного своего состояния, даже и воображению нашему в настоящее время неудобопонятного».

Праведный Иоанн Кронштадтский: «Творец благоволил создать человека из праха, дабы память такого происхождения была всегдашним источником смирения его пред Богом».

Об отсутствии тления и смерти до грехопадения Адама, а значит, и эволюционного развития

Преподобный Макарий Великий: «По его (Адама) пленении пленена уже с ним вместе служащая и покорствующая ему тварь; потому чрез него воцарилась смерть над всякою душею».

Святитель Иоанн Златоуст: «Как тварь сделалась тленною, когда тело твое стало тленным, так и когда тело твое будет нетленным (по воскресении), и тварь последует за ним и сделается соответственно ему».

Святитель Василий Великий: «...существа, подчиняясь закону естества, были питаемы плодами. Но когда человек изменил свой образ жизни и нарушил границу, ему предписанную, Господь, по потопе, зная, что люди изнурены, позволил им употреблять любую пищу: *яко зелие травное дах вам все* (Быт. 9:3). Чрез это повеление другие животные также получили свободу есть все».

Преподобный Симеон Новый Богослов: «Определение Адаму смерти и тления (после грехопадения) стало законом естества, вечным и неизменным».

«Зная прежде создания мира, что Адам имел преступить заповедь Его... Он и повелел, чтобы тварь оставалась в подчинении ему и, сделавшись тленной, служила тленному человеку, для которого создана, с тем чтоб, когда человек опять обновится и сделается духовным, нетленным и бессмертным, и вся тварь, подчиненная Богом в работу ему, обновилась от сей работы, обновилась вместе с ним и сделалась нетленною и как бы духовною».

Блаженный Феофилакт Болгарский: «Грех и смерть вошли в мир через одного человека Адама, и опять же одним Человеком, Христом, устранены».

Преподобный Григорий Синаит: «Текучая ныне тварь не создана первоначально тленною, но после (грехопадения) подпала тлению».

Святитель Феофан Затворник: «Сама тварь с нетерпением ожидает нашей будущей славы. Почему? — Потому, что быв создана нетленною, по причине грехов человеческих сделалась тленною, ибо и мы из нетленных сделались тленными».

А хищники вернутся к первозданному состоянию!

Пророк Исайя: «И пастися будут вкупе волк со агнцем, и рысь почиет со козлищем... и вол и медведь вкупе пастися будут, и вкупе дети их будут, и лев аки вол есть будет плевы (траву)».

Святитель Иоанн Златоуст: «Когда Он создал его и дал ему всю власть над тварями, то чтобы, видя такое множество бессловесных, тотчас же и в самом начале не стал тяготиться тем, что он не в состоянии продовольствовать пищею столько животных, — благий Владыка, прежде чем человек еще пришел к такой мысли, желая, так сказать, утешить его и показать, что как он сам, так и все бессловесные будут иметь полное довольство, потому что земля, по повелению Господню, будет служить к пропитанию их, к словам: *«вам да будет в снедь»*, тотчас присовокупил: *«и всем зверям земным, и всякому гаду пресмыкающемуся по земли, иже имать в себе душу живота, и всяку траву в снедь, и бысть тако»*.

Другие высказывания св. отцов

Святитель Феофан Затворник: «Во дни наши россияне начинают уклоняться от веры: одна часть совсем и всесторонне падает в неверие, другая отпадает в протестанство, третья тайком сплетает свои верования, в которых думает совместить и спиритизм, и *геологические бредни* с Божественным Откровением».

Преподобный Иустин Попович: «Сласти их в заботе о плоти... в отрицании Бога, в полностью биологической (скотоподобной) жизни, в назывании обезьяны своим предком, в растворении антропологии в зоологии».

«Та теология, которая свою антропологию основывает на теории «научной» эволюции, есть не что иное, как противоречие в определении. На самом деле это теология без Бога и антропология без человека. Если человек — не бессмертная, вечная и богочеловеческая икона Божия, тогда все теологии и антропологии не суть иное что, как трагические бессмыслицы».

Святитель Нектарий Пентапольский обличал тех, кто желал «доказать, что человек — это обезьяна, от которой, как они хвалятся, они произошли».

Священномученик Владимир Киевский так обличал эволюционное учение: «Не из Божьих рук, — говорит оно, — произошел человек; в бесконечном и постепенном переходе от несовершенного к совершенному он развился из царства животных, и как мало имеет душу животное, так мало и человек... Как неизмеримо глубоко все это унижает и оскорбляет человека!»

Преподобный Варсонофий Оптинский: «Английский философ Дарвин создал целую систему, по которой жизнь — это борьба за существование, борьба сильных со слабыми, где побежденные обрекаются на гибель. А победители торжествуют. Это уже начало звериной философии...»

Святитель Лука (Войно-Ясенецкий): «Дарвинизм, признающий, что человек посредством эволюции развился из низшего вида животных, а не является продуктом творческого акта Божества, оказался только предположением, гипотезой, уже устарелой и для науки. Эта гипотеза признана противоречащей не только Библии, но и самой природе, которая ревниво стремится сохранить чистоту каждого вида и не знает перехода даже от воробья к ласточке. Неизвестны факты перехода обезьяны в человека».

Цитируется по: Роуз С., иером. Бытие: сотворение мира и первые ветхозаветные люди. — М.; Валаамское общество Америки, 2004; Буфеев К., свящ. Православное вероучение и теория эволюции. — СПб., 2004.

Предметный указатель

Оглавление

Учебное издание

Вертьянов Сергей Юрьевич

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

Учебник для 10—11 классов общеобразовательных учреждений

Редактор **Н. Н. Матвеева**

Художники **О. В. Листопадова, И. А. Колина, В. П. Степанов, М. И. Гордеева**
Корректоры **Т. Н. Богачева, В. Г. Дмитрюк, И. М. Мартемьянова**

Санитарно-эпидемиологическое заключение № 77.99.02.953.Д.010688.11.06 от 16.11.2006 г.

Подписано в печать 19.04.09. Формат 60×90 $^{1}/_{16}$. Бумага офсетная № 1. Гарнитура Школьная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 22+форз. 0,31. Уч.-изд. л. 23,5+форз. 0,37. Тираж 10 000 экз. Заказ .
Патриарший издательско-полиграфический центр Свято-Троицкой Сергиевой Лавры. 141300, Московская область, г. Сергиев Посад.
Отпечатано в ОАО «Типография «Новости». 105005, Москва, ул. Фр. Энгельса, 46